

Skripsi Fisika

**PENGARUH SISTEM *FLUOROSCOPY* BAGASI TERHADAP
NILAI DOSIS PADA *THERMOLUMINESCENCE DOSEMETER*
(TLD) PELANGGAN DENGAN MENGGUNAKAN
DOSIMETER SAKU DAN MULTIMETER X-RAY**

OLEH:

DAHLIA

H211 13 013



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2017**

HALAMAN JUDUL

**PENGARUH SISTEM *FLUOROSCOPY* BAGASI TERHADAP
NILAI DOSIS PADA *THERMOLUMINESCENCE DOSEMETER*
(TLD) PELANGGAN DENGAN MENGGUNAKAN
DOSIMETER SAKU DAN MULTIMETER X-RAY**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Sains Pada program Studi Fisika Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin**

OLEH :

DAHLIA

H 211 13 013

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2017

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH SISTEM *FLUOROSCOPY* BAGASI TERHADAP NILAI
DOSIS PELANGGAN DENGAN MENGGUNAKAN
*THERMOLUMINISENCE DOSEMETER(TLD)***

OLEH :

DAHLIA

H211 13 013

Makassar, Agustus 2017

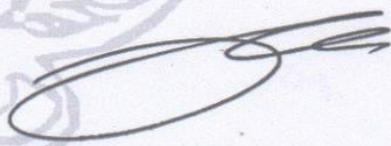
Disetujui Oleh :

Pembimbing Pertama



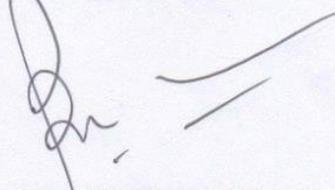
Bannu Abdul samad, S.Si, M.Si
NIP.19730521 199802 1 002

Pembimbing Kedua



Haris Prasetyo Budi Santoso, S.Si
NIP.19800425 200912 1 001

Rebimbing Utama



Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc
NIP.19550105197802 1 001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini merupakan karya orisinal saya dan sepanjang pengetahuan saya tidak memuat bahan yang pernah dipublikasi atau telah ditulis oleh orang lain dalam rangka tugas akhir untuk suatu gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau di lembaga pendidikan lainnya di manapun, kecuali bagian yang telah dikutip sesuai kaidah yang berlaku. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil kerja saya sendiri dan dalam batas tertentu dibantu oleh pihak pembimbing.

Penulis

DAHLIA

ABSTRAK

Penelitian tentang pengaruh sistem *fluoroscopy* bagasi terhadap nilai dosis pada *thermoluminisence dosemeter* (TLD) pelanggan dengan menggunakan dosimeter saku dan multimeter *X-ray* telah dilakukan di Bandar Udara Sultan Hasanuddin Makassar. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan 2 dosimeter saku yang berbeda dan multimeter *X-ray*. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata - rata dosis radiasi dengan menggunakan dosimeter saku adalah $2,232 \cdot 10^{-3}$ mSv dan $2,880 \cdot 10^{-3}$ mSv, sedang multimeter *X-ray* adalah 0,197 mSv. Hasil pengukuran berbeda karena sensitivitas detektor *ion chamber* lebih rendah di banding detektor *solid state*. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan dengan multimeter *X-ray* yang menggunakan detektor *solid state*, dapat diperkirakan dosis radiasi yang diterima TLD yaitu 0,197 untuk satu kali penyinaran *fluoroscopy* bagasi bandara saat melalui proses pengiriman transportasi udara.

Kata kunci: *fluoroscopy*, dosimeter saku, multimeter *X-ray*, TLD, *ion chamber*, *solid state*

ABSTRACT

Research about the influence of the system fluoroscopy the trunk on the dose thermoluminisence dosemeter (TLD) the customer by using dosimeter the pocket disimeter and multimeter the X-ray had been carried out in The Air Sultan Hasanuddin Makassar. The data is done using two pocket dosimeters of a different and the multimeter X-ray. The results of measurements have shown that the average dose of radiation by using the pocket dosimeter is $2,23210^{-3}$ mSv and $2,88010^{-3}$ mSv, while the multimeter X-ray is 0,197 mSv. The measurement are different because the sensitivity of the ion chamber detector is lower than that of the solid state detector. Based on measuring has done with the multimeter X-ray that use the solid state, can be predicted easily that the radiation dose received by TLD, namely 0,197 mSv to one times the illumination of the fluoroscopy the trunk of the airport when going through the process of sending transportation.

Keywords : *fluoroscopy, pocket dosimeter, multimeter X-ray, TLD, ion chamber, solid state*

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah Rabbil Alamin, segala puji bagi Allah SWT atas izin dan karunia yang telah dilimpahkan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul : “ **PENGARUH *FLUOROSCOPY* BAGASI TERHADAP NILAI DOSIS PELANGGAN DENGAN MENGGUNAKAN *THERMOLUMINISENCE DOSEMETER (TLD)*”**, yang merupakan tugas akhir untuk melengkapi persyaratan mencapai gelar sarjana Fisika Program Studi Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Dalam tulisan ini, penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dukungan, serta motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, izinkan penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga khususnya kepada kedua orang tua penulis, Ayahanda **Sabiring** dan Ibunda **Hapsah** yang tak pernah bosan membesarkan, mendidik serta memberikan kasih sayang dan do'a terbaiknya yang tak pernah putus kepada anaknya, serta saudara-saudariku yang selalu memberikan dukungan dan doa serta semangat. Juga keluarga besarku yang selalu mendo'akan yang terbaik untuk penulis.

Penulis juga ingin menyampaikan penghormatan dan rasa terima kasih yang tulus serta penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Seluruh Civitas Akademik tingkat Universitas dan terkhusus untuk civitas akademik selingkup Fakultas MIPA Unhas.
2. Bapak Dr. H.Arifin,MT selaku ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Unhas dan Bapak Bannu Abdul Samad, S.Si, M.Si selaku sekertaris jurusan.
3. Pembimbing utama saya bapak Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc yang telah membimbing saya dalam tugas akhir ini sampai selesai.
4. Pembimbing Pertama saya bapak Bannu Abdul Samad, S.Si, M.Si yang telah membimbing saya dalam tugas akhir ini.

5. Pembimbing Kedua saya bapak Haris Prasetyo dalam membimbing saya selama penelitian di BPFK Makassar. Dan seluruh pegawai BPFK Makassar yang telah membantu saya dalam penelitian ini.
6. Bu sri selaku Penasihat Akademik yang telah banyak memberikan nasehat selama kuliah.
7. Kepada Prof. Dahlang Tahir, Prof Halmar Halide, dan pak Bangsawan yang telah menjadi penguji skripsi fisika saya, serta saran dan masukan-masukannya demi kesempurnaan skripsi ini.
8. .Seluruh pegawai BPFK Makassar yang telah membantu saya dalam penelitian ini. Dan berbagi ilmu selama saya PKL di BPFK Makassar.
9. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah mendidik dan membagi ilmunya kepada penulis.
10. Kepada Sepupu saya kak anti yang telah memberikan saya semangat selama ini untuk menyelesaikan S1.
11. Kepada Teman **SD** saya, Sukyunia, Cacce, Andi lili, Andi zahwa, Fira, Nita, Aan, Cici, Fitri, Mira yang selalu memberikan semangat kepada saya.
12. Kepada Teman **MTS** saya yang selalu mendukung saya.
13. Kepada teman **Madrasah Aliyah** saya, yang selalu kocak dan selalu menghibur saya.
14. Kepada Beasiswa Etos yang telah memberikan saya beasiswa selama kuliah.
15. Kepada teman-teman angker yang telah membuat warna dalam hidup saya selama di kampus. Teman jalan, teman kocak, teman baper dan teman makan.
16. Kepada teman-teman **KOSONG** yang telah menyemangati dengan baperannya.

17. Kepada dahlia yang telah menjadi patner dalam KKN sampai dengan tugas akhir. Syukron atas bantuannya.
18. Kepada Teman pondok Arham yang selalu menyemangati saya
19. Kepada Teman **Komunitas Pecinta Anak Jalanan (KPAJ)** yang telah mendukung saya selama ini.
20. Kepada teman-teman **UKM KSR PMI UH** yang telah memberikan semangat kepada saya.
21. Kepada teman-teman **KKN Miangas** yang selalu heboh.
22. Kepada keluarga besar Beastudi Etos Makassar, terimah kasih atas binaannya sampai sekarang, dan dukungannya.
23. Untuk kanda-kanda senior dan adik-adik **HIMAFI FMIPA** unhas.
24. Dan semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangatlah diharapkan.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga peneltian ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak lain yang membutuhkan.

Makassar, 9 Agustus 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
SARI BACAAN.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar belakang.....	1
I.2 Ruang lingkup.....	3
I.3 Tujuan penelitia	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Sinar-X	4
II.1.1 Produksi Sinar-X	5

II.1.2 Sifat-sifat Sinar-X.....	7
II.1.3 Spektrum sinar-X.....	8
II.1.4 Berkas Sinar-X dan Pembentukan Citra.....	11
II.2 Fluoroskopi.....	12
II.3 Thermoluminesensi Dosimeter.....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	22
III.2 Alat dan Bahan.....	22
III.3 Prosedur Penelitian.....	23
III.4 Bagan alir penelitian	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....26	
BAB V PENUTUP	
V.1 Kesimpulan	30
V.2 Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar II.1 Grafik Spektrum Sinar-X Bremsrahlung.....	10
Gambar II.2 Bagan Sistem fluoroskopi.....	13
Gambar II.3 Skema penangkapan Citra	15
Gambar II.4 <i>Thermoluminescence Dosimeter</i>	16

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel II.1 Hasil Pembacaan TLD di TLD <i>Reader</i>	26
Tabel IV.1 Hasil Standar Deviasi.....	26
Tabel IV.2 Daftar Nilai TLD Kontrol BPFK Makassar.....	27
Tabel IV.3 Simulasi pada pengiriman TLD.....	28

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1: Dokumentasi Penelitian.....	37
LAMPIRAN 2: Dokumentasi Alat	39

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pemantauan dosis perorangan yang diterima para pekerja radiasi adalah hal yang wajib dilakukan. Menurut Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang keselamatan kerja terhadap radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif, menyebutkan keselamatan radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi. Sedangkan pekerja radiasi adalah setiap orang yang bekerja di instalasi nuklir atau instalasi radiasi pengion yang diperkirakan menerima dosis tahunan melebihi dosis untuk masyarakat umum. Berdasarkan peraturan tersebut, maka pekerja radiasi diwajibkan memakai peralatan pemantauan personal saat bekerja, dapat berupa dosimeter saku (*Pen Dosimeter*), *Film Badge* atau *Thermoluminescent Dosimeter (TLD)* [1].

Proteksi radiasi dilakukan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi, sehingga menjadi suatu keharusan untuk mewujudkan keselamatan radiasi. Nilai Batas Dosis (NBD) yang ditetapkan berdasarkan Peraturan BAPETEN No.3 Tahun 2013 untuk pekerja radiasi tidak boleh melampaui 20 mSv (*millisievert*) per tahun, rata-rata selama 5 tahun berturut-turut dan 50 mSv dalam 1 tahun tertentu [2]. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan Milda Utari dkk (2014) tentang Analisis Dosis Radiasi terhadap Radioterapis Menggunakan *Pocket Doseimeter*, *TLD Badge*, dan *TLD-*

100 di Instalasi Radioterapi RSUP Dr. M. Djamil Padang Studi Kasus (Mei – Oktober) 2014 menunjukkan bahwa dosis radiasi rata-rata yang diterima radioterapis menggunakan *pocket dosemeter* adalah sebesar 0,005 mSv per hari. Dengan menggunakan TLD *Badge* sebesar 0,014 mSv sampai 0,00095 mSv per hari dan pada TLD-100 diperoleh antara 0,000004 mSv sampai 0,00095 mSv per hari. Dosis radiasi tersebut masih di bawah NBD yang ditetapkan [2].

Di Indonesia, dosemeter perorangan yang banyak digunakan adalah *Thermoluminescent Dosimeter (TLD)*, karena memiliki tingkat sensitivitas yang cukup baik terhadap radiasi dan mampu mengukur dosis radiasi yang cukup lebar dari beberapa μGy sampai 10 Gy [3]. Secara umum TLD membutuhkan durasi waktu pemantauan 1 – 3 bulan atau > 3 – 6 bulan untuk mengetahui nilai dosis kumulatif yang diterima pekerja selama masa pemakaian [4]. Sehingga pemerintah mendirikan beberapa unit fungsional pengamanan fasilitas kesehatan seperti Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Makassar yang juga berfungsi dalam pelayanan monitoring dosis radiasi perorangan. Adapun wilayah kerja untuk BPFK Makassar adalah Sulawesi, Maluku dan Papua, dimana bagi para pekerja radiasi di wilayah tersebut setelah 3 bulan harus mengirimkan TLD yang digunakan ke BPFK untuk pembacaan dosis radiasi. Tidak bisa dipungkiri bahwa beberapa wilayah bagian di daerah tersebut harus mengirimkan TLD dengan memanfaatkan transportasi udara. Akan tetapi dalam proses pengiriman paket dengan transportasi udara akan melalui sistem pelayanan *fluoroscopy* bagasi di bandara. Mengacu pada Peraturan Pemerintah No. 29 Tahun 2008 tentang

perizinan pemanfaatan sumber radiasi pengion dan bahan nuklir yang didalamnya termasuk penggunaan *fluoroscopy* bagasi [5].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sri Mulyati dkk (2016) mengenai Penerapan Keselamatan Kerja Radiasi Pada Sistem Pelayanan *Fluoroscopy* Bagasi Di Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang. Hasil penelitian pengukuran laju paparan dan dosis personil petugas dari 6 pesawat X-ray bagasi diperoleh nilai mean dan standar deviasi sebesar $(0,47 \pm 0,21) 10^{-3}$ mSv/h [5], sehingga memungkinkan memberikan pengaruh pada TLD yang dikirimkan oleh setiap pelanggan karena terpapar sinar-X langsung saat melewati sistem bagasi *check* . Hal inilah yang mendasari peneliti untuk melakukan penelitian mengenai pengaruh sistem cek bagasi terhadap TLD pelanggan.

Pada penelitian tersebut akan digunakan Multimeter *X-ray* dan dosimeter saku kerana memiliki fungsi yang sama seperti TLD. Selain itu dapat dilakukan pembacaan nilai dosis terukur secara langsung dengan respon energi antara 50 keV sampai dengan 3 MeV dan dapat di *reset* secara otomatis, karena merupakan alat ukur aktif, sehingga memungkinkan dosimeter saku untuk merekam radiasi yang lebih besar [2,6]. Penggunaan dosimeter saku dan Multimeter *X-ray* sebagai alat ukur aktif menjadi penting ketika sumber yang digunakan dapat menimbulkan paparan radiasi tinggi atau meningkatkan resiko paparan radiasi seperti dalam aplikasi di industri radiografi [2], seperti halnya dengan pemanfaatan *fluoroscopy* cek bagasi. Hal ini akan memudahkan peneliti untuk mengetahui pengaruh sistem cek bagasi tersebut dengan menggunakan dosimeter saku dan Multimeter *X-ray*.

I.2 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi dengan pengukuran nilai dosis keluaran (*output*) pada *fluoroscopy* bagasi Bandar Udara Sultan Hasanuddin Makassar dengan menggunakan 2 dosimeter saku dengan yang berbeda dan Multimeter *X-ray*. Pada penelitian ini akan digunakan dosimeter saku yang telah dikalibrasi di Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Makassar.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengukur nilai dosis radiasi keluaran (*output*) sistem *fluoroscopy* bagasi dengan menggunakan dosimeter saku dan Multimeter *X-ray*.
2. Untuk mengetahui besar nilai dosis yang diterima TLD pelanggan saat melalui proses pengiriman dengan menggunakan dosimeter saku dan Multimeter *X-ray*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Sinar-X

Radiasi adalah pemancaran/ pengeluaran dan perambatan energi menembus ruang atau sebuah substansi dalam bentuk gelombang atau partikel. Partikel radiasi terdiri dari atom atau subatom dimana mempunyai massa dan bergerak, meyebar dengan kecepatan tinggi menggunakan energi kinetik. Beberapa contoh dari partikel radiasi adalah *electron*, beta, alpha, photon dan neutron [7].

Sumber radiasi dapat terjadi secara alamiah maupun buatan. Sumber radiasi alamiah contohnya radiasi dari sinar kosmis, radiasi dari unsur-unsur kimia yang terdapat pada lapisan kerak bumi, radiasi yang terjadi pada atmosfer akibat terjadinya pergeseran lintasan perputaran bola bumi. Sedangkan sumber radiasi buatan contohnya radiasi sinar-X, radiasi sinar alpha, beta dan gamma [7].

Sinar-X adalah pancaran gelombang elektromagnetik yang sejenis dengan gelombang listrik, radio, inframerah panas, cahaya, sinar gamma, sinar kosmik dan sinar ultraviolet tetapi dengan panjang gelombang yang sangat pendek. Perbedaan sinar-X dengan sinar elektromagnetik lainnya terletak pada panjang gelombang sinar-X lebih pendek yaitu ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$) dan frekuensi lebih besar sehingga energi yang diberikan lebih besar [7].

Pencitraan sinar-X tidak hanya dikembangkan untuk pencitraan medis bagi manusia saja, tetapi juga untuk *nondestructive testing* (NDT) pada bahan dan

obyek yang dikenal dengan pengujian sinar-X. Tujuan untuk menganalisa unsur-unsur internal yang tidak terdeteksi dengan mata telanjang. Aplikasi area yang paling signifikan pada pengujian sinar-X adalah penyaringan bagasi, makanan, kargo, pengecoran, dan pengelasan [8].

Aplikasi sinar-X dalam bidang industri hampir mirip dengan bidang kedokteran. Salah satu teknik radiografi industri adalah pada penggunaan *fluoroscopy* bagasi digunakan sebagai alat *X-ray* keamanan bagasi bagi penumpang dan *crew* pada pelabuhan udara (Bandara). Penerapan pemakaian sinar-X pada *fluoroscopy* bagasi bertujuan untuk mendeteksi barang bawaan penumpang sebelum masuk ke bandara. Namun demikian pemanfaatan *fluoroscopy* bagasi perlu mendapatkan perhatian khusus karena melibatkan penggunaan radiasi elektromagnetik berenergi tinggi (140 – 180 kV) yang dapat menyebabkan efek biologis [5].

Prinsip dasar peralatan sinar-X bagasi adalah sebagai berikut [8]:

1. Barang yang akan diperiksa, masuk ke dalam terowongan (*tunnel*) sistem pemeriksaan melalui ban berjalan (*conveyor belt*);
2. Barang-barang tersebut akan dideteksi oleh sejumlah *light barrier* pada saat barang tersebut masuk ke dalam terowongan;
3. Sensor mendeteksi adanya barang masuk dan mengirim sinyal ke unit pengontrol guna mengaktifkan sinar-X;
4. Sinar-X akan menembus barang yang berada di ban berjalan sebagai bagian dari proses pemeriksaan;

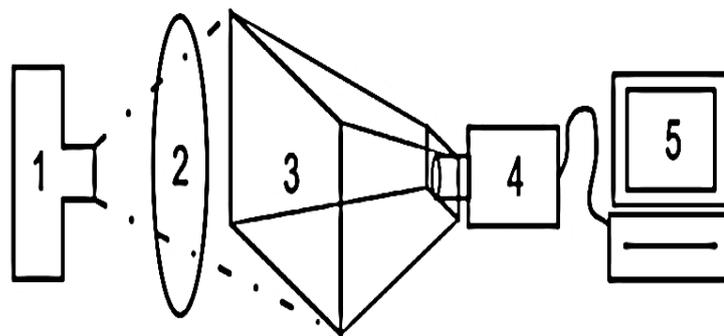
5. Barang yang diperiksa tersebut menyerap sinar yang dipancarkan oleh pembangkit (*X-ray generator*);
6. Sinar yang dipancarkan akan mengenai detektor-detektor yang ada pada dua sisi terowongan;
7. Sinar yang berbentuk kipas akan menembus obyek yang berada di *conveyor belt*, kemudian sinyal gambar yang diterima oleh detektor akan dikumpulkan bagian per bagian yang akan membentuk sebuah piksel pada layar monitor.

II.2 Fluoroscopy

Fluoroscopy merupakan salah satu teknik pencitraan yang memanfaatkan sinar-X sebagai sumber cahaya dan sebuah bidang yang terbuat dari fluor sebagai layar atau sering disebut sebagai *fluorescent screen*. Layar fluor akan berpendar saat ditumbuk oleh foton sinar-X. Tingkat kecerahan perpendaran bergantung pada banyaknya foton yang menumbuk bidang layar fluor. Pada awalnya teknik ini dimanfaatkan untuk memonitor organ dalam tubuh secara *realtime*. Hasil perpendaran fluor akan ditangkap oleh kamera video dan akan ditampilkan pada layar monitor [9].

Sistem *fluoroscopy* konvensional atau yang biasa disebut *fluoroscopy* televisi memanfaatkan layar tabung televisi untuk menampilkan hasil *fluoroscopy* secara *real-time*. Dengan sistem seperti ini dosis radiasi akan sangat tinggi untuk mempertahankan pendaran fluor dan terjadi secara terus menerus. Selain itu juga hasil dari *fluoroscopy* tidak bisa dengan mudah diproses untuk meningkatkan kualitas citra. Sedikit berbeda dengan *fluoroscopy* konvensional, *fluoroscopy*

digital memanfaatkan teknik yang sama, tetapi dengan mengganti kamera video analog menjadi kamera video digital, atau mendigitasi sinyal video analog. Sistem *fluoroscopy* digital menambahkan perangkat peubah sinyal video analog menjadi sinyal video digital. Hasil yang didapat menggunakan *fluoroscopy* digital adalah beberapa citra digital (*frame*) yang diakuisisi dalam rentang waktu tertentu. Bagan sistem *fluoroscopy* ditunjukkan oleh Gambar (II.1) [9]:



Gambar II.1. Bagan sistem *fluoroscopy* (1) Sumber Sinar-X, (2) Pasien/Obyek, (3) *Fluorescent Screen*, (4) Kamera video, (5) Komputer [9].

Jika setiap *frame* diobservasi secara individual, maka akan ditemukan gangguan pada citra sebagai akibat munculnya derau kuantum. Pengurangan derau kuantum sangat dibutuhkan untuk mencapai kualitas citra yang baik. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan teknik rata-rata dari *frame* yang diakuisisi. Pada kurun waktu kurang dari 1 detik obyek pada citra tidak berubah secara signifikan tetapi fluktuasi derau kuantum sudah terjadi. Dengan menggunakan teknik rata-rata, derau kuantum sudah dapat dikurangi dengan tidak mengubah obyek pada citra secara signifikan [9].

Dengan menggunakan *fluoroscopy* digital banyak kelebihan-kelebihan yang dapat dicapai. Salah satunya adalah, dapat dihasilkan citra digital diam yang

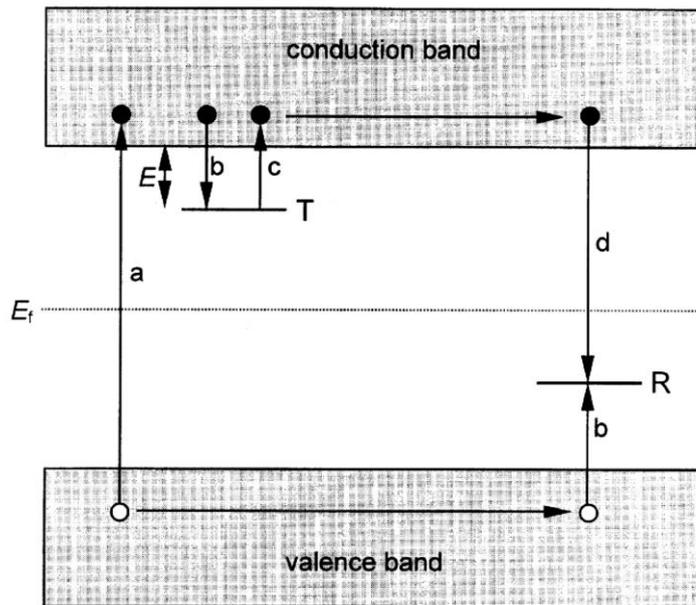
memungkinkan pasien/ objek untuk mendapatkan dosis radiasi yang lebih rendah. Selain itu juga dengan didapatnya citra dalam bentuk digital, maka dapat dilakukan pemrosesan citra digital untuk meningkatkan kualitas citra dengan menggunakan metode-metode yang tidak dapat dilakukan pada citra analog. Sebagai contoh yaitu melakukan rata-rata *frame* pada kurun waktu tertentu, hal ini akan lebih mudah dilakukan pada citra digital [9].

II.3 Thermoluminisence Dosemeter

Thermoluminisence Dosemeter (TLD) digunakan untuk mengukur dosis radiasi gamma, sinar-X dan beta, serta neutron. *Thermoluminescence* (TL) merupakan fenomena luminesensi yang dapat diamati ketika bahan TLD menerima stimulasi panas (lebih dari 200°C) yang memancarkan cahaya sebelum menyerap energi dari radiasi. Pada TL, intensitas luminesensi sebanding dengan energi radiasi pengion yang diserap bahan fosfor sebelumnya. Pada saat proses pembacaan, TLD yang menerima panas akan menyebabkan elektron-elektron terjebak menjadi kosong. Elektron yang masih terperangkap dapat dikosongkan dengan *annealing*. Pada proses pembacaan TLD dengan waktu baca pendek dan laju pemanasan tinggi, menyebabkan elektron tidak seluruhnya dibersihkan. Proses pembacaan tambahan dosimeter akan menghasilkan kurva yang dapat digunakan sebagai informasi dosis setelah dosimeter dipapari radiasi pengion [3,10].

Penjelasan mengenai sifat TL dapat diamati dengan teori pita energi. Dalam kristal semikonduktor/isolator, sebagian besar elektron berada pada pita

valensi. Selain itu pita konduksi adalah pita di atas pita valensi yang dapat di isi elektron, dimana terdapat celah energi di antara pita valensi dan pita konduksi. Perbedaan energi keduanya adalah E_g . Model sederhana TL dapat diasumsikan pada gambar (II.2) [10]:



Gambar II.2. Model pita energi yang menunjukkan transisi elektron pada bahan TL dengan model dua tingkat sederhana: (a) pembangkit elektron dan *hole*, (b) perangkap elektron dan *hole*, (c) pembebasan elektron akibat ransangan panas, (d) rekombinasi, T adalah perangkap elektron, R adalah pusat rekombinasi (penggabungan), dan E_f adalah tingkat Fermi [10].

Kemungkinan pelepasan elektron per satuan waktu dapat diasumsikan pada persamaan Arrhenius [10]:

$$p = s \exp \left\{ -\frac{E}{kT} \right\} \quad (2.1)$$

Dimana p = probabilitas per satuan waktu

s = faktor frekuensi (Hz)

E = energi aktivasi, energi yang dibutuhkan untuk melepaskan elektron dari perangkap ke pita konduksi (eV)

k = konstanta Boltzmann ($8,617 \times 10^{-5}$ eV/K), dan

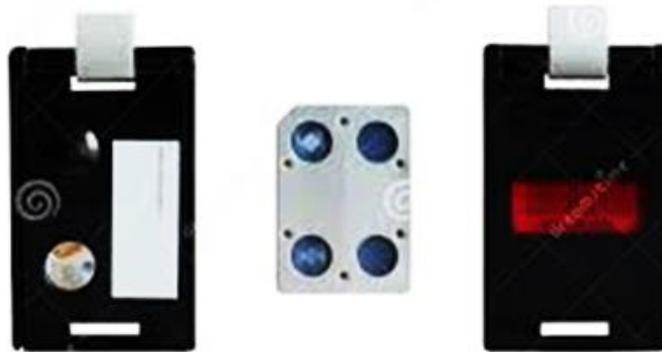
T = suhu absolute (K)

Dalam pemantauan dosis radiasi personal secara rutin, *fading* merupakan parameter yang dapat mempengaruhi perkiraan dosis. Fenomena *fading* dapat menyebabkan TLD kehilangan sensitivitas bahan yang terjadi sebelum TLD diiradiasi dan kehilangan sinyal setelah TLD diiradiasi. *Fading* pada setiap dosimeter tidak sama yang bergantung pada bahan TLD, mekanisme pembacaan, proses *annealing*, parameter tempat dan lamanya waktu untuk penyimpanan [3,11].

II.3.1 Sensitivitas *Thermoluminisence Dosemeter*

Litbang TLD terus dilakukan untuk memenuhi keperluan penentuan dosis serap radiasi pengion yang presisi dan akurat. Beberapa TLD yang sudah dikomersialisasikan adalah TLD-100, TLD-600 dan TLD-700 yang diperkaya dengan Li. Bahan fosfor LiF lebih banyak digunakan dalam pemantauan dosis radiasi eksternal sehubungan dengan tingkat sensitivitas tinggi, stabilitas informasi dosis yang baik dan memiliki ekivalensi jaringan yang baik ($Z_{eff}=8,2$). Dosimeter LiF:Mg,Ti memiliki rentang dosis 10^{-5} –10 Gy dan *fading* <5% / tahun. Dosimeter LiF:MgCuP memiliki karakteristik yang lebih baik, rentang dosis yang lebih luas (10^{-6} –10 Gy), supralinieriti yang rendah dan sensitivitasnya ± 25 kali lebih tinggi dari TLD-100 [3,12,13].

Meski LiF:MgCuP memiliki kelebihan dibanding TLD-100, namun LiF:MgCuP juga merupakan penemuan baru dan masih perlu untuk dieksplorasi. Sedang TLD-100 telah digunakan sebagai acuan standar dengan sensitivitas relatif 1.00. Hal ini membuat TLD-100H menjadi pilihan dalam program dosimetri skala besar, terutama pada aplikasi dosimetri rutin pemantauan dan evaluasi dosis ekuivalen personal dan lingkungan [13].



Gambar II.3. TLD 100 H.

TLD memiliki tingkat sensitivitas yang cukup baik terhadap radiasi dan mampu mengukur dosis radiasi yang cukup lebar dari beberapa μGy sampai 10 Gy. Sehingga sampai saat ini, TLD masih digunakan lebih dari 90% untuk pengukuran dosis personal paparan radiasi eksternal. Karena TLD memerlukan stimulasi panas dalam proses pembacaan tanggapannya dan TLD tidak dapat dibaca ulang, maka hal ini menjadi kelemahan TLD sebagai dosimeter pemantauan dosis eksternal pada masa yang akan datang [3].

Secara umum, tanggapan TLD dapat dinyatakan sebagai [14] :

$$R = \frac{Hp(10)}{FKp(E)} \quad (2.2)$$

Dengan R : tanggapan bersih pada TLD (nC)

$H_p(10)$: dosis ekuivalen untuk penyinaran TLD (mSv)

$FK_p(E)$: faktor kalibrasi TLD untuk evaluasi dosis kedalaman untuk foton berenergi E (mSv/nC).

Evaluasi dosis yang diterima TLD dilakukan dengan cara membaca tanggapan TLD yang terpapar radiasi. Nilai bacaan tanggapan selanjutnya dikoreksi dengan bacaan latar sehingga diperoleh tanggapan bersih. Dosis ekuivalen kedalaman dihitung dengan persamaan sebagai berikut [14] :

$$H_p(10) = FK_p(E) \cdot R \quad (2.3)$$

II.3.2 Keunggulan dan Kelemahan *Thermoluminisence Dosemeter*

Fenomena *thermoluminescent* (TL) dapat diamati pada banyak jenis bahan fosfor, namun hanya beberapa yang menunjukkan sifat sesuai dengan kebutuhan dalam aplikasi dosimetri. Untuk aplikasi dosimetri personal, persyaratan dosimetrik yang harus dimiliki dosimeter adalah kemampuan jangkauan dosis antara 10^{-5} sampai 5×10^{-1} Gy dengan ketidakpastian (pada 1 SD) adalah -30% dan $+50\%$. Pada kasus tertentu, perkiraan ulang dosis radiasi eksternal dalam dosimetri personal merupakan permasalahan penting yang tidak dapat diselesaikan dengan TLD. Secara umum, diasumsikan bahwa setelah TLD melalui proses pembacaan dan *annealing* akan menyebabkan seluruh perangkat elektroniknya menjadi kosong [3].

TLD merupakan dosimeter personal pemantauan dosis radiasi eksternal paparan radiasi gamma, sinar-X, beta dan neutron. Dalam dosimetri neutron, pemantau paparan radiasi neutron yang memiliki spektrum energi yang sangat

lebar mulai dari neutron termik, epitermik, sedang, dan neutron cepat ($<10^{-2}$ eV – $> 10^7$ eV) membutuhkan pasangan dosimeter yang sensitif terhadap neutron dan gamma. Sampai saat ini, pemantauan neutron merupakan bagian penting banyak program dosimetri personal dan pilihan penggunaan pasangan TLD yang diperkaya dengan unsur ^6Li (sensitif terhadap neutron) atau ^7Li (hampir tidak sensitif terhadap neutron) untuk mengukur dosis neutron terus mengalami peningkatan [3,15].

Secara umum dosis ekuivalen personal untuk neutron dapat dinyatakan sebagai [3,15]:

$$Hp(10)_{neutron} = Hp(10)_{neutron+\gamma} - Hp(10)_{\gamma} \quad (2.4)$$

Dengan, $Hp(10)_{neutron+\gamma}$ merupakan dosis ekuivalen dari dosimeter yang diperkaya unsur ^6Li untuk komponen neutron dan gamma, sedangkan $Hp(10)_{\gamma}$ untuk komponen gamma (foton) [3,15].

II.4 Dosimeter Saku (*Pen Dosemeter*)

Dosimeter merupakan kegiatan pengukuran dosis radiasi dengan teknik pengukurannya didasarkan pada pengukuran ionisasi yang disebabkan oleh radiasi dalam gas terutama udara. Radiasi mempunyai ukuran atau satuan yang menunjukkan banyaknya dosis radiasi yang diberikan atau yang diterima oleh suatu medium yang terkena radiasi. Radiasi mempunyai satuan karena radiasi membawa atau mentransfer energi dari sumber radiasi yang diteruskan pada medium yang menerima radiasi [16].

Pengukuran dosis radiasi menggunakan dosimeter dilakukan secara akumulasi. Dosis radiasi yang mengenai dosimeter personal akan dijumlahkan dengan dosis yang telah diterima sebelumnya. Besaran dan satuan dasar yang dipakai dalam pengukuran dosis radiasi telah didefinisikan oleh *The International Commission of Radiation Units and Measurements* (ICRU). Berikut adalah besaran dan satuan dasar dalam dosimetri [2]:

1. Dosis serap

Besaran dosis serap digunakan untuk mengetahui jumlah energi dari radiasi pengion yang diserap oleh medium. Dosis serap ditunjukkan oleh persamaan :

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (2.5)$$

D = dosis serap (Gy)

dE = energi yang diserap oleh medium bermassa m (J)

dm = massa medium terhadap dE (kg)

2. Dosis ekuivalen

Dosis ekuivalen merupakan besaran dosimetri yang berhubungan langsung dengan efek biologi, yang didapatkan dari perkalian dosis serap dengan faktor bobotnya. Dosis ekuivalen ditunjukkan oleh persamaan :

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R} \quad (2.6)$$

Dimana, $H_{T,R}$: dosis ekuivalen organ atau jaringan T dari radiasi R (Sv)

w_R : faktor bobot dari radiasi R

$D_{T,R}$: dosis serap organ atau jaringan T dari radiasi R (Gy)

3. Dosis efektif

Dosis efektif diperlukan untuk menunjukkan keefektifan radiasi dalam menimbulkan efek tertentu pada suatu organ. Dosis efektif ditunjukkan oleh persamaan :

$$H_E = w_T \cdot H_T \quad (2.7)$$

H_E = dosis efektif (Sv)

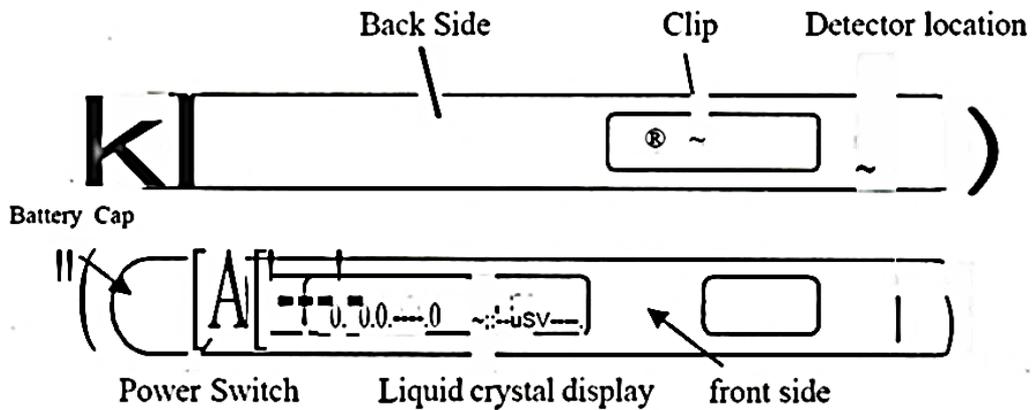
w_T = faktor bobot organ atau jaringan T

H_T = dosis ekuivalen organ atau jaringan T (Gy)

Dosimeter saku merupakan dosimeter bacaan langsung yang disebut alat ukur aktif, sehingga memungkinkan bagi dosimeter tersebut untuk merekam radiasi yang lebih besar daripada TLD [2]. Salah satu alat yang banyak digunakan sebagai alat ukur radiasi yang menggunakan ionisasi gas dan juga menggunakan prinsip elektroskop. Alat yang dipergunakan berupa dosimeter saku detektor semikonduktor yang diujikan terhadap variasi dosis radiasi, laju dosis radiasi serta variasi suhu. Prinsip kerja dari alat ini terdiri dari detektor semikonduktor bahan silikon, *power supply*, peralatan penunjang seperti : penguat, *counter*, dan *memory* [16].

Detektor dosimeter personal menggunakan bahan semikonduktor yaitu dari bahan silikon yang memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat mendeteksi radiasi sinar-x maupun sinar gamma, penunjukan nilai dosis secara langsung, response energi antara 50 keV sampai dengan 3 MeV dan dapat direset secara otomatis. Bahan semikonduktor akan menyerap energi radiasi yang melaluinya sehingga elektronnya dapat berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Bila kedua ujung bahan semikonduktor tersebut terdapat beda potensial $< 3 \text{ eV}$, maka

akan terjadi aliran listrik yang kemudian akan diubah menjadi nilai suatu dosis [6].



Gambar II.4. Dosimeter Saku Digital PDM-102 [6].

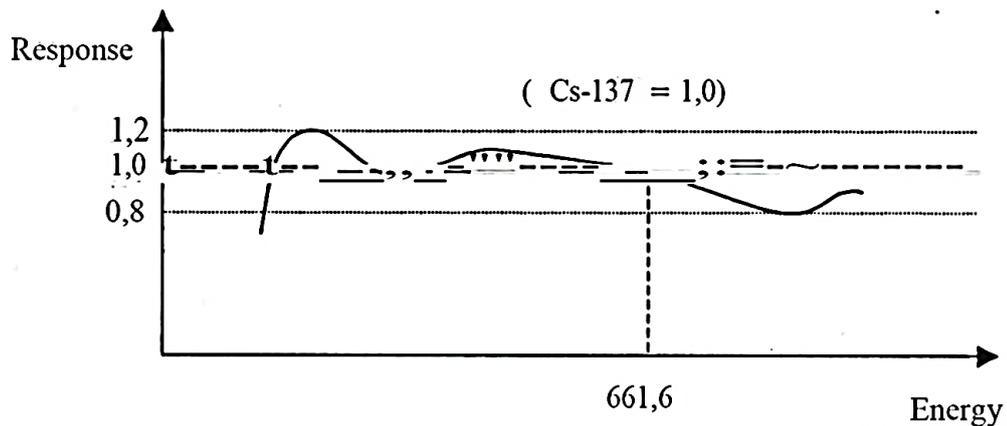
II.5 Kalibrasi Dosimeter Saku (*Pen Dosemeter*)

Pen dosemeter harus dikalibrasi terlebih dahulu untuk mendapatkan skala yang akurat. Sumber kalibrasi yang biasa digunakan untuk dosimeter saku adalah Cs-137. Kalibrasi ini dilakukan secara rutin pada selang waktu tertentu atau dilakukan secara berkala [16].

Karakteristik satu sumber yang akan digunakan untuk kalibrasi sangat tergantung pada faktor internal dan eksternal. Yang termasuk kategori faktor internal adalah disain sumber radiasi, keseragaman berkas radiasi, dan system kolimator. Sedangkan yang termasuk kategori faktor eksternal antara lain : kondisi pengukuran (posisi, tekanan dan temperature udara), alat ukur radiasi yang digunakan serta disain ruang kalibrasi yang memenuhi persyaratan [16].

Kalibrasi alat ukur radiasi adalah penentuan respon alat ukur radiasi terhadap suatu paparan atau dosis radiasi yang telah diketahui. Sudah merupakan

ketentuan bahwa setiap alat ukur proteksi radiasi harus dikalibrasi secara periodik. Hal ini dilakukan untuk menguji ketepatan nilai yang ditampilkan alat terhadap nilai sebenarnya. Perbedaan nilai antara yang ditampilkan dan yang sebenarnya harus dikoreksi dengan satu parameter yang disebut faktor kalibrasi (Fk) [16].



Gambar II.5. Respon energi Dosimeter Saku digital PDM-102 [6].

Dalam melakukan pengukuran, nilai yang ditampilkan alat harus dikalikan dengan faktor kalibrasinya. Suatu alat ukur radiasi yang dikalibrasi dengan cara membandingkan hasil bacaan alat ukur dengan alat ukur standar. Kedua alat ukur disinari pada satu titik dengan laju dosis yang sama. Alat ukur standar memberikan bacaan laju dosis sedangkan alat ukur yang dikalibrasi menunjukkan skala bacaan. Faktor kalibrasi dari alat ukur yang dikalibrasi adalah [16] :

$$Fk = \frac{Ds}{Du} \quad (2.8)$$

Keterangan : Fk = Faktor kalibrasi

Ds = Bacaan alat ukur standar

Du = Bacaan alat ukur yang dikalibrasi

Kalibrasi dapat juga dimanfaatkan untuk menentukan layak tidaknya suatu alat ukur radiasi yang dipakai untuk pemantauan radiasi. Suatu alat ukur

dinyataan sangat baik apabila nilai F_k -nya sama dengan satu. Sedang simpangan nilai F_k yang masih diizinkan adalah berkisar antara $\pm 20\%$ dari 1. Jadi alat ukur radiasi dikatakan layak apabila nilai F_k -nya berkisar antara 0,80 sampai dengan 1,20. Jika nilai F_k alat berada diluar nilai tersebut, maka alat ukur radiasi dikatakan sudah tidak layak pakai. Jika kalibrasi pada suatu skala dilakukan berulang-ulang, maka data rata-rata dan simpangan nilai F_k alat tersebut dapat dipakai untuk menentukan kestabilan tanggapan alat ukur terhadap radiasi. Tanggapan alat itu dikatakan stabil apabila simpangan dari F_k rata-ratanya tidak lebih dari 20% [16].



Gambar II.6. Pesawat irradiator dengan sumber Cs-137 [16].

Metode kalibrasi yang lain yaitu menyinari alat ukur radiasi yang akan dikalibrasi dalam medan radiasi yang diketahui laju dosisnya. Ketepatan pengukuran laju dosis harus dipertanggung jawabkan. Teknik dikenal sebagai kalibrasi menggunakan laju dosis standar [16].

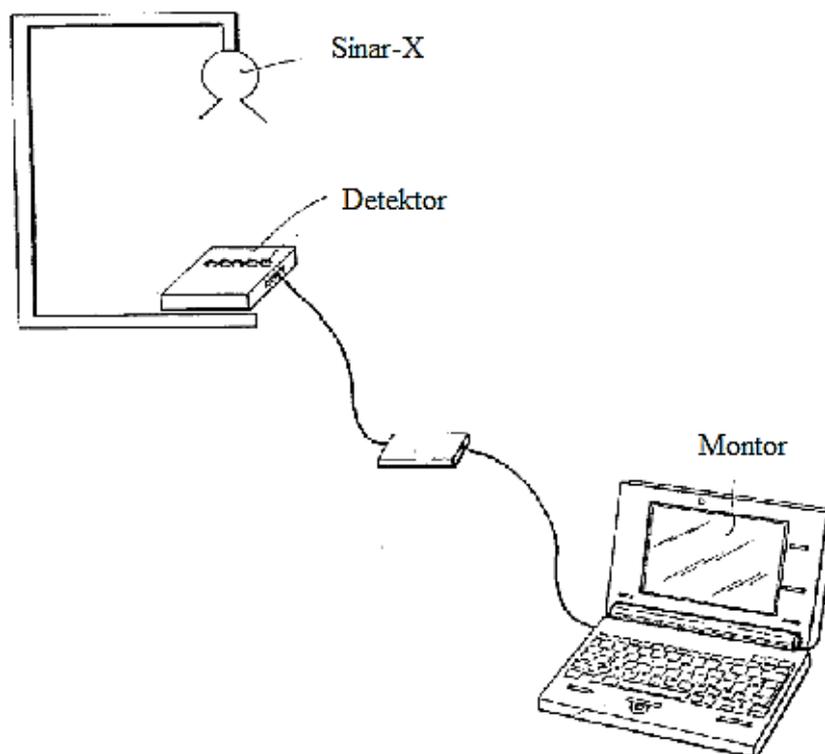
$$F_k = \frac{D_s}{D_a} \quad (2.9)$$

Keterangan : D_s = Laju dosis sebenarnya (dari sumber)

D_a = Laju dosis terukur (oleh alat).

II.6 Multimeter *X-ray*

Multimeter *X-ray* merupakan salah satu alat ukur aktif yang berguna untuk mendeteksi dan menganalisa radiasi sinar-X. Pemantauan dosis radiasi sinar-X sangat penting dilakukan terutama pada pemanfaatan di bidang kesehatan, sehingga multimeter *X-ray* ini dimanfaatkan untuk pengontrolan kualitas peralatan sinar-X karena mampu memberikan informasi yang akurat dalam penggunaannya. Parameter-parameter yang dapat diukur oleh multimeter *X-ray* adalah tegangan tabung sinar-X, dosis radiasi, HVL, arus, dan laju dosis/ paparan, dll [17].



Gambar II.7 Skema penggunaan Multimeter *X-ray*

Setiap multimeter *X-ray* dilengkapi dengan detektor yang terhubung dengan monitor yang menampilkan secara langsung respon dari detektor tersebut yang menanggapi kandungan energi radiasi sinar-X [17].



Gambar II.8 Multimeter X-ray *Barracuda*

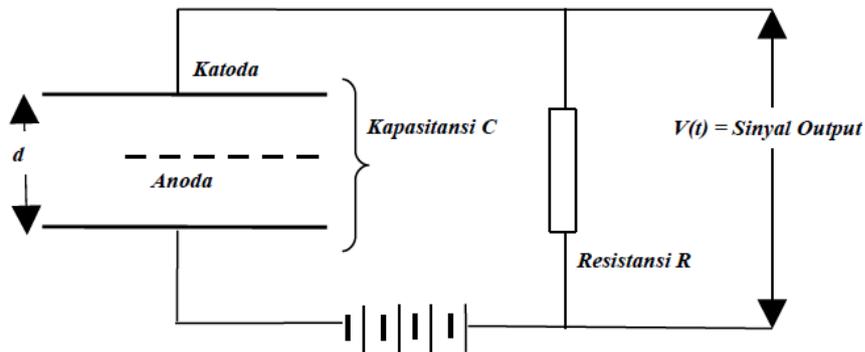


Gambar II.9 Multimeter X-ray *Raysafe*

II.7 Detektor Isian Gas

Salah satu jenis alat ukur radiasi yang pertama kali dikenalkan dan sampai saat ini masih terus dan sering digunakan untuk mengukur radiasi adalah detektor isian gas. Detektor ini terdiri dari dua elektroda, yaitu positif dan negatif, serta berisi gas di antara kedua elektrodanya. Elektroda positif disebut sebagai anoda yang dihubungkan ke kutub listrik positif, dan elektroda negatif disebut sebagai katoda yang dihubungkan ke kutub listrik negatif. Kebanyakan detektor ini

berbentuk silinder yang terbuat dari bahan gelas, dengan sumbu tengahnya sebagai konduktor yang berfungsi sebagai anoda, dan dinding (selimut) silinder berfungsi sebagai katoda [18].



Gambar II.10 Detektor Isian Gas

Apabila konstanta waktu R.C jauh lebih besar daripada waktu yang diperlukan untuk mengumpulkan semua ion yang terbentuk karena proses ionisasi, maka tinggi pulsa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [18] :

$$\Delta V = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2.10)$$

ΔV adalah tinggi pulsa listrik yang dihasilkan, ΔQ adalah jumlah muatan listrik, dan C adalah kapasitas detektor[18].

Setiap radiasi yang mengenai alat ukur akan dikonversikan menjadi sebuah pulsa listrik. Apabila kuantitas/jumlah radiasi yang mengenai suatu alat ukur semakin tinggi maka jumlah pulsa listrik yang dihasilkannya akan semakin banyak pula. Sedangkan energi dari setiap radiasi yang mengenai alat ukur akan sebanding dengan tingginya pulsa listrik yang dihasilkan. Jadi semakin besar energi radiasinya, maka akan semakin tinggi pula pulsa listrik yang ditimbulkannya [18].

Arus listrik yang mengalir di Resistansi R sangat kecil, alat ukur pada daerah arus listrik sekecil itu adalah alat ukur beda potensial. Agar besarnya beda potensial dapat diukur, pada arus listrik yang mengalir sangat kecil, harus dipasang nilai resistansi R yang besar (biasanya mencapai ratusan megaohm). Melakukan pekerjaan dengan menggunakan nilai resistor yang besar seperti ini, besarnya kelembaban udara harus diusahakan serendah mungkin [18].

Radiasi yang memasuki detektor akan memberikan sebagian atau seluruh energinya untuk mengionisasi gas, sehingga timbul ion-ion positif (dari atom atau molekul residu) dan ion-ion negatif (elektron bebas). Radiasi partikel α dan β dapat melakukan proses ionisasi langsung pada bahan isian gas, sedangkan gelombang elektromagnetik/foton (Sinar-X atau sinar γ) dan neutron dapat melakukan proses ionisasi secara tidak langsung. Karena bahan penyerap /bahan isian detektor yang akan mengalami proses ionisasi adalah gas, maka disebut sebagai detektor isian gas. Sehingga pada umumnya, semua alat ukur radiasi jenis ini harus kedap udara dari luar untuk menghindari tercampurnya gas isian detektor dengan gas-gas yang berasal dari udara di luar detektor [18].

II.8 Detektor *Ion Chamber*

Kamar pengionan ialah bilik/ruangan tertutup yang berisi gas. Ionisasi yang terjadi pada gas isian karena radiasi akan dikumpulkan pada elektroda dan diukur. Medan listrik dalam bilik tersebut sangat sensitif untuk menarik elektron elektron bebas dan ion-ion positif ke elektrodanya masing-masing [18].

Detektor ini bekerja pada daerah ionisasi. Pada daerah ini tidak terjadi proses multiplikasi muatan dalam detektor. Output pulsa sebanding/proporsional dengan energi radiasi yang masuk/diserap oleh detektor, sehingga energi radiasinya dapat diukur. Karena pulsa yang terbentuk tidak besar, maka hanya partikel-partikel pengionisasi kuat seperti α , proton, fragmen fisi, dan ion-ion besar yang bisa dideteksi secara efektif dengan menggunakan jenis detektor ini. Partikel alfa dan beta dengan tingkat energi yang sama akan menghasilkan keluaran pulsa yang berbeda, pulsa dari partikel alfa akan lebih besar daripada pulsa dari partikel beta. Beda potensial yang digunakan pada umumnya kurang dari 1000 volt [18].

Apabila *Variable High Voltage Power Supply* kita hidupkan mulai dari 0 volt, maka akan terbentuk suatu daerah tegangan operasi yang disebut daerah ionisasi, namun tegangan operasi ini masih relatif rendah, namun sudah cukup untuk menarik ion-ion yang terbentuk ke elektrodaelektrodanya, sebelum ion-ion tersebut bergabung kembali/rekombinasi untuk membentuk atom netral gas isian [18].

Pergerakan elektron menuju anoda yang dikarenakan adanya perbedaan potensial antara elektroda detektor tidak mungkin menghasilkan ionisasi sekunder. Jadi jumlah elektron yang terkumpul pada anoda hanya merupakan hasil ionisasi primer, sehingga tinggi pulsa yang terbentuk akan sebanding dengan jumlah ion primer yang dihasilkan pada proses ionisasi primer atau dengan kata lain faktor penguatan/multiplikasi pada detektor ini sama dengan satu [18].

Aliran elektron di dalam detektor dapat menimbulkan aliran listrik yang dipakai sebagai dasar untuk pengukuran radiasi. Seperti telah disebutkan di atas, bahwa pada umumnya arus listrik yang timbul sebagai pulsa keluaran, biasanya sangat rendah kira-kira 10^{-12} ampere, sehingga memerlukan rangkaian elektronik penguat arus yang besar dan sangat sensitif. Rangkaian penguat arus ini dikenal dengan amplifier (*direct current*). Pada umumnya pengukuran radiasi dengan menggunakan jenis detektor ini menerapkan mode arus (*current mode*). Namun, apabila ingin menggunakan jenis detektor ini dengan menerapkan mode pulsa, maka diperlukan penguat pulsa yang sangat baik [18].

II.9 Detektor Semikonduktor

Detektor semikonduktor, pada prinsipnya bekerja melalui konsep pengukuran perubahan konduktivitas suatu bahan yang disebabkan oleh adanya radiasi ionisasi. Detektor semikonduktor memiliki kesamaan dengan jenis detektor isian gas dalam beberapa prinsip sistem kerjanya. Detektor bahan semikonduktor, merupakan jenis detektor yang masih baru. Detektor ini memiliki beberapa keunggulan yaitu lebih efisien dibandingkan dengan detektor isian gas, karena terbuat dari zat padat, serta memiliki resolusi yang lebih baik daripada detektor sintilasi [18].

Detektor semikonduktor sangat teliti dalam membedakan energi radiasi yang mengenainya atau disebut memiliki resolusi yang tinggi. Sebagai gambaran, detektor sintilasi untuk radiasi gamma biasanya memiliki resolusi sebesar 50 keV, artinya detektor ini dapat membedakan energi dari dua buah radiasi yang

memasukinya bila kedua radiasi tersebut memiliki perbedaan energi lebih besar daripada 50 keV. Sedang detektor semikonduktor untuk radiasi gamma biasanya memiliki resolusi 2 keV. Jadi terlihat bahwa detektor semikonduktor jauh lebih teliti untuk membedakan energi radiasi [18].

Kelebihan detektor semikonduktor dibandingkan dengan detektor isian gas adalah sebagai berikut [18] :

1. Detektor berukuran lebih kecil
2. Memiliki resolusi energi yang lebih baik untuk seluruh jenis radiasi
3. Memiliki efisiensi yang lebih tinggi untuk radiasi gamma
4. *Fast timing characteristic* yang memungkinkannya dapat mengukur laju cacah yang tinggi
5. Memiliki volume detektor efektif yang dapat diatur sesuai dengan jenis radiasi yang cukup tinggi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar dan Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Makassar.

III.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. *Fluoroskopy* bagasi bandara berfungsi sebagai sumber sinar-X yang akan diukur nilai dosis radiasinya.
2. Dosimeter saku berfungsi sebagai alat ukur dosis radiasi *fluoroskopy* bagasi.
 - a) Kode : “A”
FK : 0,93 mSv
 - b) Kode : “B”
FK : 0,9 μ Sv
3. Multimeter *X-ray* berfungsi sebagai alat untuk mengukur dosis radiasi dan laju dosis *fluoroscopy* bagasi.
4. Thermoigrometer digunakan untuk mengukur suhu, tekanan dan kelembaban
5. Stopwatch untuk mengukur waktu rata-rata dosimeter saku melalui *fluoroskopy*
6. Komputer
7. Amplop

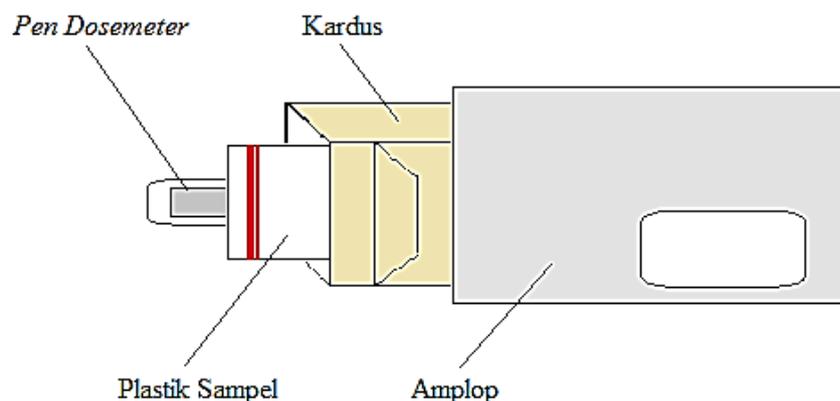
8. Kardus

9. Plastik Sampel

III.3 Prosedur Kerja

Penelitian ini memanfaatkan pesawat sinar-X *fluoroscopy* di Bandar Udara Sultan Hasanuddin Makassar. Alat ukur radiasi yang digunakan adalah dosimeter saku DML 200X, dosimeter saku Aloka, dan Multimeter *X-ray* yang dalam keadaan nol / kosong dan telah dikalibrasi. Adapun prosedur kerja dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

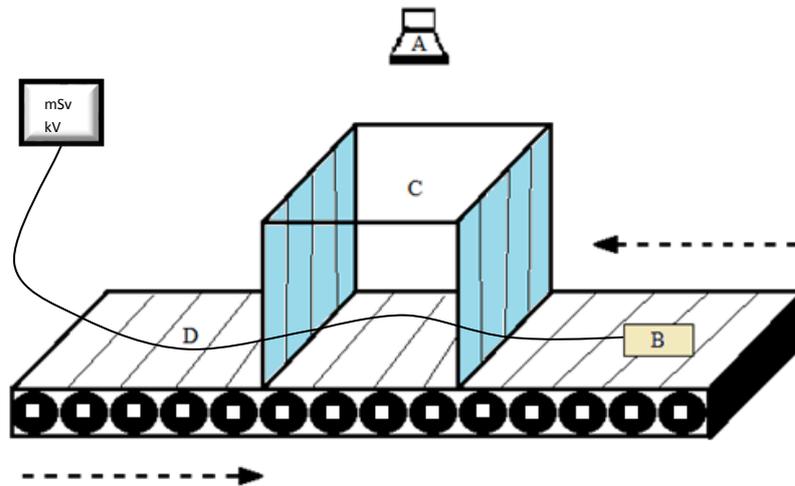
1. Membungkus setiap dosimeter saku dan detektor Multimeter *X-ray* dengan amplop kertas pada lapisan pertama, kardus pada lapisan ke-2, dan plastik sampel pada lapisan ke-3. Hal ini dilakukan untuk mengasumsikan TLD pelanggan yang dikirim dengan *packing*-an demikian.



Gambar III.1. Skema *Packing*-an Dosimeter Saku / detektor Multimeter *X-ray*

2. Meletakkan dosimeter saku dan Multimeter *X-ray* di *conveyor belt fluoroscopy*

3. Mengukur waktu yang dibutuhkan dosimeter saku dan Multimeter *X-ray* untuk melalui *fluoroscopy*
4. Mengukur dan mencatat suhu, tekanan, kelembaban, dan dan laju dosis bersamaan dengan masuknya dosimeter saku kedalam *fluoroscopy*

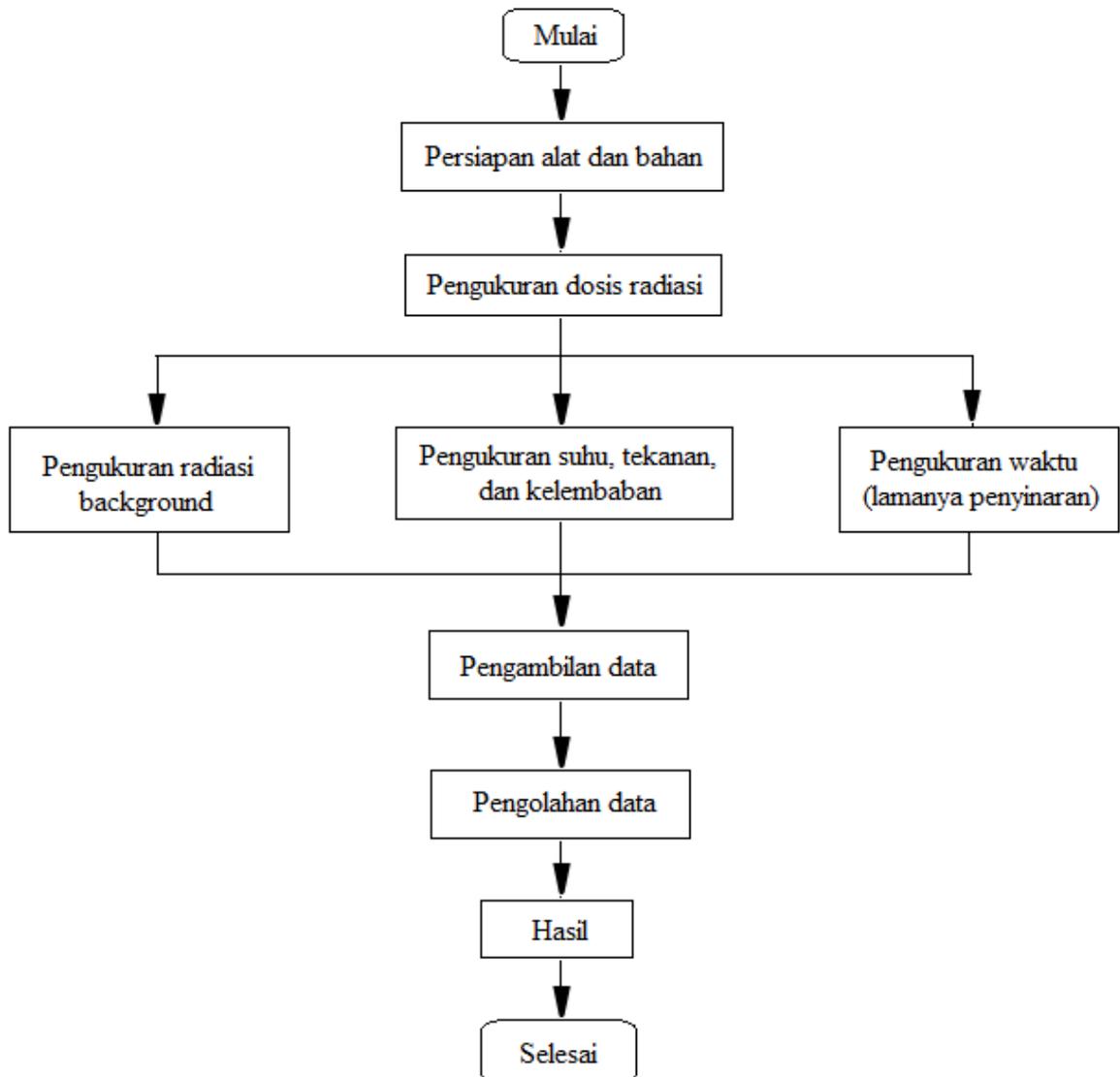


Gambar III.2. Skema Prosedur Penelitian. (A) Sinar-X, (B) Dosimeter Saku / Multimeter *X-ray*, (C) *Tunnel*, (D) *Conveyor belt*

5. Mencatat hasil pengukuran dosimeter saku dan Multimeter *X-ray*
6. Mereset dosimeter saku
7. Mengulangi prosedur 2 – 6 untuk variasi data

III.4 Bagan Alir Penelitian

Adapun bagan alir dari penelitian ini adalah :



Gambar III.3. Bagan alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran yang diperoleh berupa dosis radiasi *fluoroscopy* bagasi di bandara Sultan Hasanuddin Makassar yang diukur dengan menggunakan dosimeter saku kode A dan B, serta Multimeter *X-ray* dari BPFK Makassar. Hasil pengukuran menunjukkan perkiraan dosis radiasi yang diterima *Thermoluminisence dosimeter* (TLD) saat melalui proses pengiriman dengan estimasi dua kali penyinaran *fluoroscopy* bagasi bandara. Pengukuran dosis radiasi *fluoroscopy* bagasi belum pernah dilakukan sebelumnya, maka data ini dapat digunakan untuk evaluasi hasil pembacaan TLD pekerja radiasi di beberapa daerah tertentu yang memanfaatkan transportasi udara untuk mengirim TLD guna keperluan pemantauan dosis personal sesuai dengan aturan Perka BAPETEN No.4 Tahun 2013.

IV.1 Hasil pengukuran dosis radiasi *fluoroscopy* bagasi Bandara Sultan Hasanuddin Makassar

Berdasarkan hasil *survey* di bandara Sultan Hasanuddin Makassar, diketahui dosis radiasi *background* adalah 0, rata-rata suhu, tekanan dan kelembapan di lokasi adalah 24,987°C, 1008,371 hPa, dan 63,02 %. Karena *fluoroscopy* bagasi bandara menggunakan sistem digital, dimana sinar-X akan menembus barang yang masuk ke dalam *tunnel* saat melalui *conveyor belt*. Semakin lama waktu penyinaran semakin besar pula dosis radiasi yang diterima, maka pemilihan data

dilakukan secara acak, dimana dosis radiasi berbanding lurus dengan lamanya waktu penyinaran. Rata-rata waktu dosimeter saku kode A dan B melalui *tunnel* adalah 12,806 s. Berikut rata-rata dosis radiasi untuk setiap pengukuran dengan menggunakan dosimeter saku kode A dan B, serta Multimeter *X-ray*.

a. Dosimeter saku kode A dan B

Pada hasil pengukuran dengan menggunakan dosimeter saku kode A dan B yang menggunakan detektor *ion chamber* menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda. Pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 menunjukkan bahwa rata-rata hasil pengukuran dengan menggunakan dosimeter saku kode A dan B adalah $(2,232 \pm 1,224) \times 10^{-3}$ mSv dan $(2,880 \pm 1,558) \times 10^{-3}$ mSv. Alat ukur radiasi yang menggunakan detektor *ion chamber* memiliki respon atau resolusi yang rendah dan hanya dapat mengukur radiasi tunggal seperti radiasi gamma, alpha, dan beta, sehingga kurang tepat digunakan dalam pengukuran dosis radiasi sinar-X seperti *fluoroscopy* bagasi ataupun *cargo*.

Respon dari dosimeter saku kode A lebih rendah dibanding dengan dosimeter saku kode B, dimana rata-rata hasil pengukuran terendah ditunjukkan pada rata-rata pengukuran ke-4 sebesar $1,860 \times 10^{-3}$ mSv. Hasil pengukuran tertinggi pada dosimeter saku kode A hanya mencapai $2,79 \times 10^{-3}$ mSv, sedang kode B sebesar $3,9 \times 10^{-3}$ mSv. Salah satu faktor yang menyebabkan berkurangnya sensitivitas dari dosimeter saku kode A adalah kurang mendapat perawatan dan jarang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa pentingnya memberikan perawatan pada alat ukur radiasi untuk menjaga kualitas alat ukur itu sendiri sesuai dengan Perka BAPETEN No.1 Tahun 2006.

Tabel 4.1. Hasil pengukuran dosis radiasi dengan menggunakan dosimeter saku

Kode A

No.	Pengukuran	Hasil Pengukuran (mSv)	\bar{x} (mSv)	Standar Deviasi (mSv)	x^* (mSv)
1	1	$0,930 \times 10^{-3}$	$2,170 \times 10^{-3}$	$1,421 \times 10^{-3}$	$(2,170 \pm 1,421) \times 10^{-3}$
	2	$1,860 \times 10^{-3}$			
	3	$3,720 \times 10^{-3}$			
2	1	$1,860 \times 10^{-3}$	$2,790 \times 10^{-3}$	$0,930 \times 10^{-3}$	$(2,790 \pm 0,930) \times 10^{-3}$
	2	$2,790 \times 10^{-3}$			
	3	$3,720 \times 10^{-3}$			
3	1	$0,930 \times 10^{-3}$	$2,170 \times 10^{-3}$	$1,421 \times 10^{-3}$	$(2,170 \pm 1,421) \times 10^{-3}$
	2	$1,860 \times 10^{-3}$			
	3	$3,720 \times 10^{-3}$			
4	1	$0,930 \times 10^{-3}$	$1,860 \times 10^{-3}$	$0,930 \times 10^{-3}$	$(1,860 \pm 0,930) \times 10^{-3}$
	2	$1,860 \times 10^{-3}$			
	3	$2,790 \times 10^{-3}$			
5	1	$0,930 \times 10^{-3}$	$2,170 \times 10^{-3}$	$1,421 \times 10^{-3}$	$(2,170 \pm 1,421) \times 10^{-3}$
	2	$1,860 \times 10^{-3}$			
	3	$3,720 \times 10^{-3}$			
\bar{x}			$2,232 \times 10^{-3}$	$1,224 \times 10^{-3}$	$(2,232 \pm 1,224) \times 10^{-3}$

Tabel 4.2. Hasil pengukuran dosis radiasi dengan menggunakan dosimeter saku

Kode B

No.	Pengukuran	Hasil Pengukuran (mSv)	\bar{x} (mSv)	Standar Deviasi (mSv)	x^* (mSv)
1	1	$0,900 \times 10^{-3}$	$2,400 \times 10^{-3}$	$1,375 \times 10^{-3}$	$(2,400 \pm 1,375) \times 10^{-3}$
	2	$2,700 \times 10^{-3}$			
	3	$3,600 \times 10^{-3}$			
2	1	$1,800 \times 10^{-3}$	$2,700 \times 10^{-3}$	$0,900 \times 10^{-3}$	$(2,700 \pm 0,900) \times 10^{-3}$
	2	$2,700 \times 10^{-3}$			
	3	$3,600 \times 10^{-3}$			
3	1	$1,800 \times 10^{-3}$	$3,000 \times 10^{-3}$	$1,375 \times 10^{-3}$	$(3,000 \pm 1,375) \times 10^{-3}$
	2	$2,700 \times 10^{-3}$			
	3	$4,500 \times 10^{-3}$			
4	1	$0,900 \times 10^{-3}$	$2,400 \times 10^{-3}$	$1,873 \times 10^{-3}$	$(2,400 \pm 1,873) \times 10^{-3}$
	2	$1,800 \times 10^{-3}$			
	3	$4,500 \times 10^{-3}$			
5	1	$1,800 \times 10^{-3}$	$3,900 \times 10^{-3}$	$2,265 \times 10^{-3}$	$(3,900 \pm 2,265) \times 10^{-3}$
	2	$3,600 \times 10^{-3}$			
	3	$6,300 \times 10^{-3}$			
\bar{x}			$2,880 \times 10^{-3}$	$1,558 \times 10^{-3}$	$(2,880 \pm 1,558) \times 10^{-3}$

b. Multimeter *X-ray*

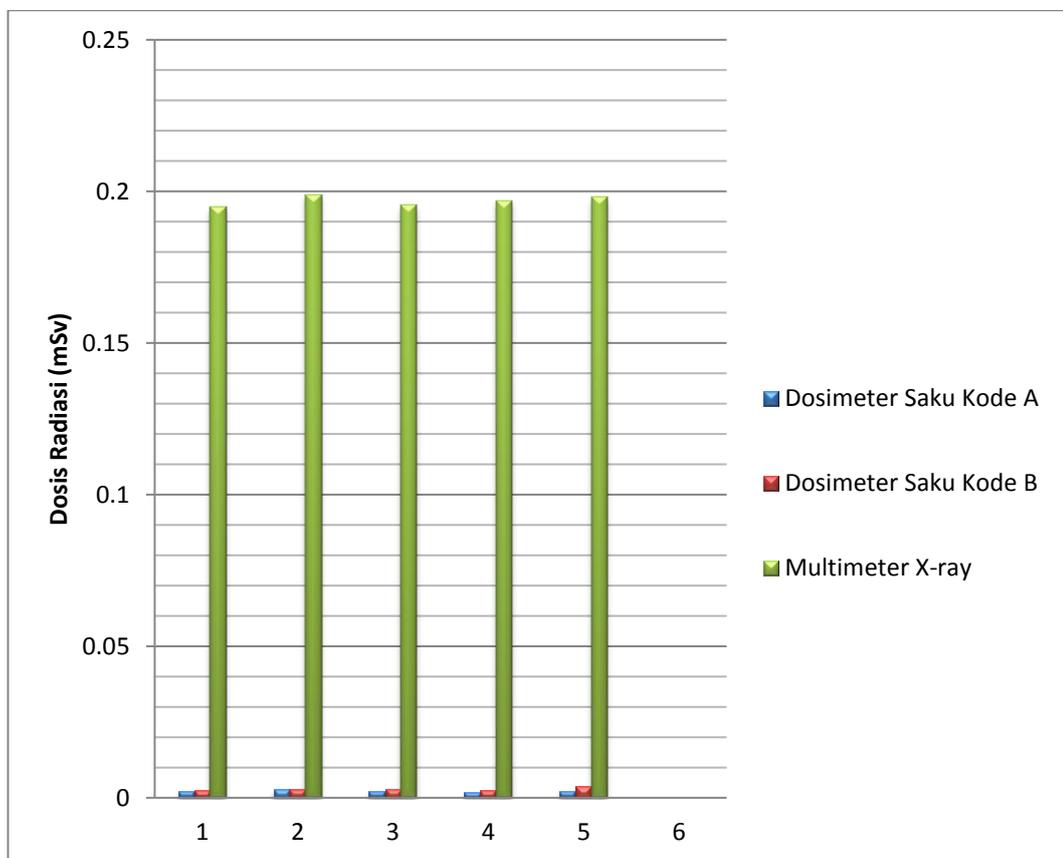
Berdasarkan hasil pengukuran dengan menggunakan Multimeter *X-ray* menunjukkan rata-rata dosis terendah adalah $(0,195 \pm 0,007)$ mSv, rata-rata respon tertinggi diperoleh sebesar $(0,199 \pm 0,011)$ mSv. Resolusi alat ini memang jauh lebih baik dibanding dengan dosimeter saku kode A dan B dengan hasil pengukuran tertinggi $(2,790 \pm 0,930) \times 10^{-3}$ mSv dan $(3,900 \pm 2,265) \times 10^{-3}$ mSv. Hasil pengukuran Multimeter *X-ray* lebih akurat karena memang dirancang untuk mengetahui kualitas dari radiasi sinar-X. Maka dari itu data hasil pengukuran dosis radiasi pada *fluoroscopy* bagasi dengan menggunakan Multimeter *X-ray* lebih diutamakan. Adapun hasil pengukuran dosis radiasi dengan Multimeter *X-ray* pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil pengukuran dosis radiasi dengan menggunakan Multimeter *X-ray*

No.	Pengukuran	Hasil Pengukuran (mSv)	\bar{x} (mSv)	Standar Deviasi (mSv)	x^* (mSv)
1	1	0,189	0,195	0,007	$(0,195 \pm 0,007)$
	2	0,193			
	3	0,203			
2	1	0,189	0,199	0,011	$(0,199 \pm 0,011)$
	2	0,197			
	3	0,211			
3	1	0,189	0,195	0,007	$(0,195 \pm 0,007)$
	2	0,195			
	3	0,203			
4	1	0,189	0,197	0,008	$(0,197 \pm 0,008)$
	2	0,197			
	3	0,205			
5	1	0,189	0,198	0,010	$(0,198 \pm 0,010)$
	2	0,196			
	3	0,209			
\bar{x}			0,197	0,009	$(0,197 \pm 0,009)$

IV.2 Perbandingan hasil pengukuran dosis radiasi

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan dosimeter saku kode A dan B, serta Multimeter *X-ray* dapat diketahui dosis radiasi *fluoroscopy* bagasi untuk satu kali penyinaran. Perbandingan ketiga alat ukur aktif ini menunjukkan hasil pengukuran yang jauh berbeda antara dosimeter saku dengan Multimeter *X-ray*. Perbandingan hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Perbandingan hasil pengukuran dosis radiasi *fluoroscopy* bagasi antara dosimeter saku kode A dan B, serta Multimeter *X-ray*

Dosis radiasi masing-masing alat ukur diperoleh $2,232 \times 10^{-3}$ mSv untuk dosimeter saku kode A, $2,880 \times 10^{-3}$ mSv untuk dosimeter saku kode B, dan 0,197 mSv untuk Multimeter *X-ray*. Hasil pengukuran dosimeter saku kode A dan B

menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda, karena keduanya menggunakan detektor *ion chamber*. Tingkat energi antara pita valensi dan pita konduksi pada detektor *ion chamber* cukup besar, yaitu 25 eV- 40 eV maka respon yang dihasilkan oleh dosimeter saku kode A dan B jauh lebih rendah dibanding dengan Multimeter *X-ray*. Sehingga dosimeter saku dengan jenis detektor *ion chamber* tidak memungkinkan digunakan dalam pengukuran dosis radiasi *fluoroscopy* bagasi yang memanfaatkan sinar-X dengan tingkat energi yang rendah, karena tidak dapat memberikan informasi yang lebih akurat. Selain itu, penggunaan detektor *ion chamber* sebaiknya pada ruang kedap udara untuk menghindari adanya gangguan dari gas-gas luar dengan gas isian detektor, karena yang digunakan pada detektor *ion chamber* adalah gas.

Dosimeter saku dan Multimeter *X-ray* merupakan alat ukur aktif, tetapi alat ini memiliki detektor yang berbeda. Detektor yang digunakan pada Multimeter *X-ray* adalah detektor *solid state*. Prinsip dasar dari detektor ini sama dengan TLD yang berbahan semikonduktor dimana tingkat energi antara pita valensi dengan pita konduksi sangat kecil yaitu < 3 eV, sehingga hasil pengukuran radiasi yang diperoleh lebih akurat karena memiliki resolusi yang tinggi. Hal ini disebabkan karena energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan ion-ion lebih rendah dibanding dengan proses ionisasi gas seperti detektor *ion chamber*. Berdasarkan hasil pengukuran Multimeter *X-ray* diperoleh rata-rata dosis radiasi $(0,197 \pm 0,009)$ mSv. Data ini dapat dijadikan sebagai acuan dan pertimbangan dalam mengevaluasi pemantauan dosis perorangan di beberapa instansi seperti BPFK Makassar.

IV.3 Perkiraan dosis radiasi yang diterima TLD di beberapa daerah yang termasuk dalam wilayah kerja BPFK Makassar

Beberapa instansi yang bertugas dalam pemantauan dosis perorangan menggunakan nilai TLD *control* sebagai faktor pengurang dalam mengevaluasi dosis radiasi petugas. Dosis radiasi *background* atau TLD *control* ini berbeda-beda di setiap daerah, karena diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dosis radiasi dengan menggunakan TLD yang disimpan selama 3 bulan di setiap Rumah Sakit yang termasuk dalam wilayah kerja instansi tersebut. Salah satu contohnya adalah BPFK Makassar dengan wilayah kerja SULAMPA (Sulawesi, Maluku dan Papua). Adapun nilai dosis TLD *control* di wilayah tersebut ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Dosis radiasi *background* / nilai TLD *control* di beberapa daerah yang menjadi faktor pengurang dalam evaluasi pemantauan dosis perorangan di BPFK

Makassar

No.	Kode Wilayah	Propinsi	Nilai TLD Control
			Hp 10 (mSv)
1	40	Sulawesi Selatan	0,0448
2	41	Sulawesi Tenggara	0,1101
3	42	Sulawesi Tengah	0,0925
4	43	Sulawesi Utara	0,0801
5	44	Gorontalo	0,147
6	45	Papua	0,1241
7	46	Maluku Utara	0,0801
8	47	Maluku / Ambon	0,0801
9	48	Sulawesi Barat	0,0448

(Sumber : BPFK Makassar)

Berdasarkan data nilai TLD *control* tabel 4.4 menunjukkan rata-rata dan standar deviasi dosis radiasi *background* untuk wilayah kerja BPFK Makassar adalah $(0,0893 \pm 0,0339)$ mSv. Dosis radiasi pada nilai TLD *control* diperoleh dari hasil pengukuran di beberapa titik wilayah kerja BPFK Makassar pada tahun 2012. Proses pengambilan data dilakukan dengan cara melakukan penyimpanan TLD selama 3 bulan di beberapa Rumah Sakit yang mewakili setiap wilayah kerja BPFK Makassar. Pembacaan TLD pelanggan dilakukan sekali setelah pemakaian 3 bulan TLD oleh pelanggan / pekerja radiasi. Sehingga penyimpanan TLD untuk pengukuran nilai TLD *control* selama 3 bulan. Nilai TLD *control* di beberapa wilayah menunjukkan dosis radiasi yang sama, karena pengambilan data di beberapa titik mewakili dosis radiasi daerah terdekat.

Berdasarkan informasi menjelaskan bahwa dosis radiasi yang menjadi faktor pengurang (nilai TLD *control*) dalam evaluasi pemantauan dosis perorangan belum mempertimbangkan adanya penambahan dosis radiasi dari *fluoroscopy* bagasi saat melalui proses pengiriman TLD. Hasil pengukuran dosis radiasi *fluoroscopy* bagasi bandara dengan menggunakan Multimeter *X-ray* diperoleh rata-rata 0,197 mSv. Hal ini menunjukkan bahwa pentingnya mengevaluasi kembali nilai TLD *control* di setiap daerah.

Dosis radiasi yang diterima TLD saat melalui proses pengiriman yang memanfaatkan transportasi udara lebih besar dibanding dengan nilai TLD *control* karena terpapar langsung oleh radiasi sinar-X. Sehingga dapat diperkirakan akumulasi dosis radiasi dengan penyinaran *fluoroscopy* bagasi sebanyak satu kali ditambah dengan 0,197 mSv. Namun, berdasarkan prosedur pengiriman paket

TLD dari satu daerah ke daerah lain hingga kembali ke daerah asal akan melalui dua kali sistem keamanan *fluoroscopy*. Jadi, estimasi dosis radiasi yang diperoleh adalah sebesar 0,394 mSv.

Meskipun hasil pembacaan TLD pelanggan / pekerja radiasi masih di bawah NBD yang ditetapkan berdasarkan Peraturan BAPETEN No.3 Tahun 2013, akan tetapi untuk akurasi data pelaporan dosis radiasi petugas di Indonesia, maka hal ini perlu untuk di pertimbangkan. Sebagai contoh dari data nilai TLD control beberapa daerah tersebut, ketika pekerja radiasi mengirim TLD guna pemantauan dosis perorangan, maka diperoleh nilai total faktor pengurang untuk hasil pembacaan TLD ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Total dosis radiasi *background* untuk wilayah kerja BPFK Makassar

No.	Kode Wilayah	Propinsi	Nilai TLD Control (mSv)	Estimasi Penyinaran	Akumulasi dosis <i>background</i> (mSv)
1	40	Sulawesi Selatan	0,0448	0	0,0448
2	41	Sulawesi Tenggara	0,1101	2×	0,5041
3	42	Sulawesi Tengah	0,0925	2×	0,4865
4	43	Sulawesi Utara	0,0801	2×	0,4741
5	44	Gorontalo	0,147	2×	0,5410
6	45	Papua	0,1241	2×	0,5181
7	46	Maluku Utara	0,0801	2×	0,4741
8	47	Maluku / Ambon	0,0801	2×	0,4741
9	48	Sulawesi Barat	0,0448	0	0,0448

Berdasarkan hasil akumulasi pada tabel 4.5 menunjukkan bahwa di daerah Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara, Gorontalo, Papua, Maluku

Utara, dan Ambon dengan nilai awal TLD *control* adalah $\geq 0,1$ mSv. Akan tetapi, setelah memperhitungkan hasil pengukuran dosis radiasi *fluoroscopy* bagasi dengan menggunakan Multimeter *X-ray* dengan rata-rata 0,197 mSv, dan mempertimbangkan estimasi penyinaran sebanyak dua kali sesuai prosedur pengiriman, maka diperoleh total dosis radiasi *background* di daerah tersebut $\leq 0,541$ mSv. Oleh karena itu, sebaiknya dilakukan pembaharuan data untuk nilai TLD *control* di beberapa instansi yang bertugas dalam pemantauan dosis perorangan.

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengukuran dosis radiasi dengan menggunakan dosimeter saku kode A adalah $(2,232 \pm 1,224) \times 10^{-3}$ mSv, dosimeter kode B adalah $(2,880 \pm 1,558) \times 10^{-3}$ mSv dan Multimeter *X-ray* $(0,197 \pm 0,009)$ mSv. Hasil pengukuran antara dosimeter saku dan multimeter *X-ray* jauh berbeda karena detektor yang digunakan juga berbeda yaitu detektor *ion chamber* dan detektor *solid state*. Detektor *ion chamber* memiliki resolusi yang rendah karena tingkat energi antara pita valensi dengan pita konduksi pada detektor cukup tinggi yaitu 25 eV- 40 eV, sedang detektor *solid state* memiliki resolusi tinggi karena tingkat energi antara pita valensi dengan pita konduksi sangat kecil yaitu < 3 eV, sehingga hasil pengukuran yang diperoleh lebih akurat.
2. Dari hasil pengukuran Multimeter *X-ray* diperoleh rata-rata 0,197 mSv untuk sekali penyinaran *fluoroscopy* bagasi. Sehingga dapat diperkirakan bahwa dosis radiasi tambahan yang diperoleh TLD saat melalui *fluoroscopy* bagasi di bandara dari daerah asal TLD dikirim ke instansi pusat pembacaan TLD, hingga kembali ke daerah asal dengan estimasi total dua kali penyinaran sesuai prosedur pengiriman adalah 0,394 mSv. Sehingga hasil pelaporan pembacaan TLD pelanggan dikurangi dengan nilai TLD control yang telah di tambahkan dengan akumulasi hasil pengukuran *fluoroscopy* bagasi.

V.2 Saran

Adapun saran untuk hasil penelitian ini adalah :

1. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengukuran dosis radiasi *fluoroscopy* bagasi ataupun *cargo* dengan menggunakan alat ukur radiasi yang menggunakan detektor *solid state* seperti Multimeter *X-ray*.
2. Sebaiknya di beberapa instansi yang bertugas dalam pemantauan dosis perorangan, melakukan pembaharuan data mengenai nilai TLD *control* di wilayah kerja masing-masing dengan mempertimbangkan adanya penambahan dosis radiasi akibat sistem keamanan *fluoroscopy* bagasi bandara atau *cargo* pada TLD pelanggan saat melalui proses pengiriman.
3. Melakukan penelitian lebih lanjut terhadap parameter-parameter lain yang dapat mempengaruhi kualitas sinar-X seperti HVL, laju dosis, tegangan tabung dan arus.
4. Petugas bandara yang berhubungan langsung dengan *fluoroscopy* bagasi bandara maupun *cargo*, sebaiknya menggunakan alat pemantauan dosis perorangan seperti TLD sesuai dengan Perka BAPETEN No.4 Tahun 2013.

Daftar Pustaka

- [1] Trikasjono T., Elisabeth S., Hendarto B., 2008, *Studi Penerimaan Dosis Eksterna Pada Pekerja Radiasi Di Kawasan BATAN Yogyakarta*, Sekolah Tinggi Teknologi BATAN, Yogyakarta
- [2] Utari M., Dian M., Nunung N., dan Helfi Y., 2014, *Analisis Dosis Radiasi Terhadap Radioterapis Menggunakan Pocket Dosemeter, TLD Badge, Dan TLD-100 Di Instalasi Radioterapi RSUP DR. M. Djamil Padang Studi Kasus (Mei-Oktober) 2014*, Vol 3, No. 4, Unand, Padang.
- [3] Sofyan H., 2012, *Dosimeter Thermoluminisensi sebagai Dosimetri Personal dalam Pemantauan Dosis Radiasi Eksternal*, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN, Purworejo.
- [4] Sofyan H., 2013, *Pemantauan Rutin Dosis Eksternal Perorangan Menggunakan Dosimeter Personal Aktif*, BATAN, Tangerang.
- [5] Mulyati S., Mohammad I.K., Yeti K., 2016, *Penerapan Keselamatan Kerja Radiasi Pada Sistem Pelayanan Fluoroskopi Bagasi Di Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang*, Poltekkes Kemenkes Semarang, Semarang.
- [6] Sugito., 2006, *Penentu Faktor Konversi Dosis TLD Glass $CaSO_4$ dan Pendose Digital PDM-102 Terhadap Film Badge*, Fungsional Pranata Nuklir-Pusdiklat, Vol.7, No.2, BATAN, Tangerang.
- [7] Boel T., 2009, *Dental Radiografi; Prinsip dan Teknik*, Pusat Sistem Informasi, USU, Medan.

- [8] Permata E., 2016, *Identifikasi Obyek Benda Tajam Menggunakan Pengolahan Citra Digital pada Citra X-ray*, Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, vol.1, no.1.
- [9] Louk A.C., Gede B.S., 2014, *Pengukuran Kualitas Sistem Pencitraan Radiografi Digital Sinar-X*, Jurusan Fisika, Fakultas FMIPA, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- [10] Bos A.J.J., 2001, *High Sensitivity Thermoluminescence Dosimetry*, Interfaculty Reactor Institute, Delft University Of Technology, Mekelweg, Netherlands.
- [11] Carinou E., Askounis P., Dimitripoulou F., Kiranos G., Kyrgiakou H., Papadomarkaki E., Kamenopoulou V., 2011, *Pre- and Post-Irradiation Fading Effect for LiF:Mg, Ti and LiF:Mg, Cu, P Materials Used in Routine Monitoring*, Greece, vol.144, no.1-4, pp.207-210.
- [12] Moscovitch M., John T.J.S., Cassata J.R., Blake P.K., Rotunda J.E., Ramlo M., Velbeck K.J., Luo L.Z., 2006, *The Application of LiF:Mg,Cu,P to Large Scale Personnel Dosimetry: Current Status and Future Directions*, Departement of Radiation Medicine Georgetown University School of Medicine, Washington, vol.119, no1-4.
- [13] Moscovitch M., Horowitz Y.S., 2007, *Thermoluminescent Materials for Medical Applications: LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P*, Department of Radiation Medicine, Georgetown University, Washington, USA.

- [14] Rohmah N., Akhadi M., 1996, *Interkomparasi dalam Pengukuran Dosis Kedalaman*, PSPKR-BATAN.
- [15] Kulkarni M.S., Bhadra M.L., Behrens R., Muthe K.P., Rawat N.S., Gupta S.K., Sharma D.N., 2011, *Studies on New Neutron Sensitive Dosimeters Using an Optically Stimulated Luminescence Technique*, Bhabha Atomic Research (BARC), Mumbai, India.
- [16] Muhijrah., Wira B.N., Bannu A.S., 2016, *Analisis Dosis Keluaran Radiasi dengan Sumber Cs-137 pada Proses Kalibrasi Pen Dosemeter*, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- [17] Kullenberg R., Anders U., 2000, *X-ray Multimeter Technical Field The present invention relates to a method and a device for detecting and analysing X-ray radiation*, Swaden.
- [18] ANSN- Bepeten, 2017, *Alat Ukur Radiasi*, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta.
- [19] Tim BPFK Makassar, 2012, *Lembar Kerja Nilai TLD Control*, Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan Makassar, Sulawesi Selatan.

Lampiran 1

Tabel data hasil pengukuran di bandara Sultan Hasanuddin Makassar

A. Dosimeter saku Kode A

No.	Dosis radiasi (mSv)	Waktu (s)	Suhu (°C)	Tekanan (hPa)	Kelembaban (%)
1	$0,930 \times 10^{-3}$	12,410	24,600	1009,100	59,500
	$1,860 \times 10^{-3}$	12,730	25,100	1009,200	63,700
	$3,720 \times 10^{-3}$	13,520	24,700	1007,700	62,200
\bar{x}	$2,170 \times 10^{-3}$	12,887	24,800	1008,667	61,800
2	$1,860 \times 10^{-3}$	12,550	25,500	1008,600	62,700
	$2,790 \times 10^{-3}$	12,860	24,900	1008,700	65,500
	$3,720 \times 10^{-3}$	13,060	25,300	1007,900	62,400
\bar{x}	$2,790 \times 10^{-3}$	12,823	25,233	1008,400	63,533
3	$0,930 \times 10^{-3}$	12,460	25,000	1008,200	63,700
	$1,860 \times 10^{-3}$	12,800	24,700	1007,700	62,700
	$3,720 \times 10^{-3}$	13,240	25,100	1008,300	64,800
\bar{x}	$2,170 \times 10^{-3}$	12,833	24,933	1008,067	63,733
4	$0,930 \times 10^{-3}$	12,420	24,900	1008,500	64,700
	$1,860 \times 10^{-3}$	12,920	25,300	1008,000	66,100
	$2,790 \times 10^{-3}$	12,980	25,000	1008,600	62,200
\bar{x}	$1,860 \times 10^{-3}$	12,773	25,067	1008,367	64,333
5	$0,930 \times 10^{-3}$	12,480	24,700	1008,300	63,600
	$1,860 \times 10^{-3}$	12,670	25,100	1007,700	62,700
	$3,720 \times 10^{-3}$	13,110	24,900	1009,100	63,300
\bar{x}	$2,170 \times 10^{-3}$	12,753	24,900	1008,367	63,200

B. Dosimeter saku Kode B

No.	Dosis radiasi (mSv)	Waktu (s)	Suhu (°C)	Tekanan (hPa)	Kelembaban (%)
1	$0,900 \times 10^{-3}$	11,960	25,100	1008,000	63,600
	$2,700 \times 10^{-3}$	12,860	25,600	1008,300	62,900
	$3,600 \times 10^{-3}$	13,030	24,800	1008,100	62,500
\bar{x}	$2,400 \times 10^{-3}$	12,617	25,167	1008,133	63,000
2	$1,800 \times 10^{-3}$	12,460	24,700	1007,700	61,900
	$2,700 \times 10^{-3}$	12,670	24,900	1008,200	62,200
	$3,600 \times 10^{-3}$	13,060	25,000	1008,700	63,700
\bar{x}	$2,700 \times 10^{-3}$	12,730	24,867	1008,200	62,600
3	$1,800 \times 10^{-3}$	12,400	25,000	1008,600	62,700
	$2,700 \times 10^{-3}$	12,820	25,200	1008,200	63,300
	$4,500 \times 10^{-3}$	13,110	24,900	1009,200	59,500
\bar{x}	$3,000 \times 10^{-3}$	12,777	25,033	1008,667	61,833
4	$0,900 \times 10^{-3}$	12,420	25,100	1008,100	63,700
	$1,800 \times 10^{-3}$	12,730	24,600	1008,700	59,900
	$4,500 \times 10^{-3}$	13,240	24,700	1007,700	62,200
\bar{x}	$2,400 \times 10^{-3}$	12,797	24,800	1008,167	61,933
5	$1,800 \times 10^{-3}$	12,720	25,300	1009,100	62,700
	$3,600 \times 10^{-3}$	12,980	25,000	1008,600	65,500
	$6,300 \times 10^{-3}$	13,520	24,900	1008,200	66,100
\bar{x}	$3,900 \times 10^{-3}$	13,073	25,067	1008,633	64,767

C. Multimeter X-ray

No.	Dosis radiasi (mSv)	Laju dosis (mSv/s)	Suhu (°C)	Tekanan (hPa)	Kelembaban (%)
1	0,189	0,949	25,100	1008,300	64,800
	0,193	0,964	25,600	1008,200	62,400
	0,203	1,015	24,800	1008,600	66,100
\bar{x}	0,195	0,976	25,167	1008,367	64,433
2	0,189	0,948	24,700	1008,700	65,500
	0,197	0,988	24,900	1008,600	62,700
	0,211	1,058	25,000	1007,700	62,200
\bar{x}	0,199	0,998	24,867	1008,333	63,500
3	0,189	0,945	25,000	1009,100	59,900
	0,195	0,975	25,200	1009,100	63,700
	0,203	1,016	24,900	1007,900	59,500
\bar{x}	0,195	0,978	25,033	1008,700	61,033
4	0,189	0,948	25,100	1009,100	62,700
	0,197	0,989	24,600	1008,200	63,300
	0,205	1,025	24,700	1007,900	61,900
\bar{x}	0,197	0,987	24,800	1008,400	62,633
5	0,189	0,946	25,300	1008,200	62,600
	0,196	0,984	25,000	1008,100	62,700
	0,209	1,049	24,900	1008,000	63,700
\bar{x}	0,198	0,993	25,067	1008,100	63,000

Lampiran 2

Hasil perhitungan standar deviasi pada setiap pengukuran dosis radiasi

Standar deviasi diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

A. Dosimeter saku Kode A

Pengukuran-1	Hasil pengukuran (mSv)	Rata-rata Dosis (mSv)	Standar deviasi (mSv)
1	$0,930 \times 10^{-3}$	$2,170 \times 10^{-3}$	$1,421 \times 10^{-3}$
2	$1,860 \times 10^{-3}$		
3	$3,720 \times 10^{-3}$		

Pengukuran-2	Hasil pengukuran	Rata-rata Dosis	Standar deviasi
1	$1,860 \times 10^{-3}$	$2,790 \times 10^{-3}$	$0,930 \times 10^{-3}$
2	$2,790 \times 10^{-3}$		
3	$3,720 \times 10^{-3}$		

Pengukuran-3	Hasil pengukuran	Rata-rata Dosis	Standar deviasi
1	$0,930 \times 10^{-3}$	$2,170 \times 10^{-3}$	$1,421 \times 10^{-3}$
2	$1,860 \times 10^{-3}$		
3	$3,720 \times 10^{-3}$		

Pengukuran-4	Hasil pengukuran	Rata-rata Dosis	Standar deviasi
1	$0,930 \times 10^{-3}$	$1,860 \times 10^{-3}$	$0,930 \times 10^{-3}$
2	$1,860 \times 10^{-3}$		
3	$2,790 \times 10^{-3}$		

Pengukuran-5	Hasil pengukuran	Rata-rata Dosis	Standar deviasi
1	$0,930 \times 10^{-3}$	$2,170 \times 10^{-3}$	$1,421 \times 10^{-3}$
2	$1,860 \times 10^{-3}$		
3	$3,720 \times 10^{-3}$		

B. Dosimeter saku Kode B

Pengukuran-1	Hasil pengukuran (mSv)	Rata-rata Dosis (mSv)	Standar deviasi (mSv)
1	$0,900 \times 10^{-3}$	$2,400 \times 10^{-3}$	$1,375 \times 10^{-3}$
2	$2,700 \times 10^{-3}$		
3	$3,600 \times 10^{-3}$		

Pengukuran-2	Hasil pengukuran (mSv)	Rata-rata Dosis (mSv)	Standar deviasi (mSv)
1	$1,800 \times 10^{-3}$	$2,700 \times 10^{-3}$	$0,900 \times 10^{-3}$
2	$2,700 \times 10^{-3}$		
3	$3,600 \times 10^{-3}$		

Pengukuran-3	Hasil pengukuran (mSv)	Rata-rata Dosis (mSv)	Standar deviasi (mSv)
1	$1,800 \times 10^{-3}$	$3,000 \times 10^{-3}$	$1,375 \times 10^{-3}$
2	$2,700 \times 10^{-3}$		
3	$4,500 \times 10^{-3}$		

Pengukuran-4	Hasil pengukuran (mSv)	Rata-rata Dosis (mSv)	Standar deviasi (mSv)
1	$0,900 \times 10^{-3}$	$2,400 \times 10^{-3}$	$1,873 \times 10^{-3}$
2	$1,800 \times 10^{-3}$		
3	$4,500 \times 10^{-3}$		

Pengukuran-5	Hasil pengukuran (mSv)	Rata-rata Dosis (mSv)	Standar deviasi (mSv)
1	$1,8 \times 10^{-3}$	$3,900 \times 10^{-3}$	$2,265 \times 10^{-3}$
2	$3,6 \times 10^{-3}$		
3	$6,3 \times 10^{-3}$		

C. Multimeter X-ray

Pengukuran-1	Hasil pengukuran (mSv)	Rata-rata Dosis (mSv)	Standar deviasi (mSv)
1	0,189	0,195	0,007
2	0,193		
3	0,203		

Pengukuran-2	Hasil pengukuran (mSv)	Rata-rata Dosis (mSv)	Standar deviasi (mSv)
1	0,189	0,199	0,011
2	0,197		
3	0,211		

Pengukuran-3	Hasil pengukuran (mSv)	Rata-rata (mSv)	Standar deviasi (mSv)
1	0,189	0,195	0,007
2	0,195		
3	0,203		

Pengukuran-4	Hasil pengukuran (mSv)	Rata-rata Dosis (mSv)	Standar deviasi (mSv)
1	0,189	0,197	0,008
2	0,197		
3	0,205		

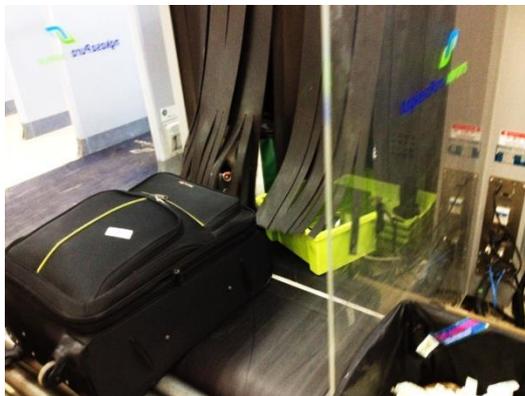
Pengukuran-5	Hasil pengukuran (mSv)	Rata-rata Dosis (mSv)	Standar deviasi (mSv)
1	0,189	0,198	0,010
2	0,196		
3	0,209		

Lampiran 5

Proses pengukuran dan pengambilan data



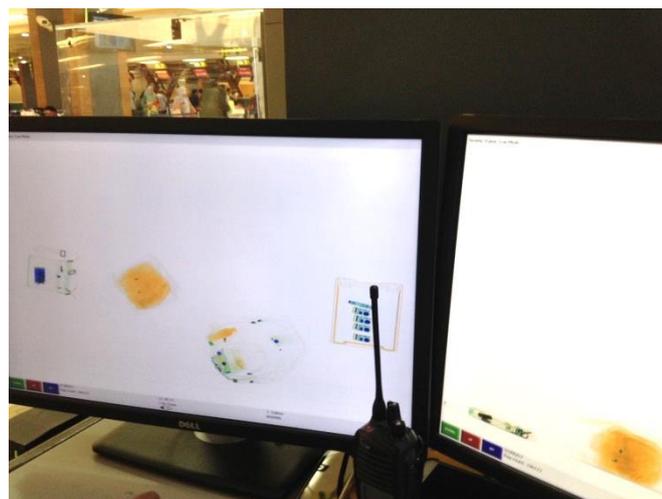
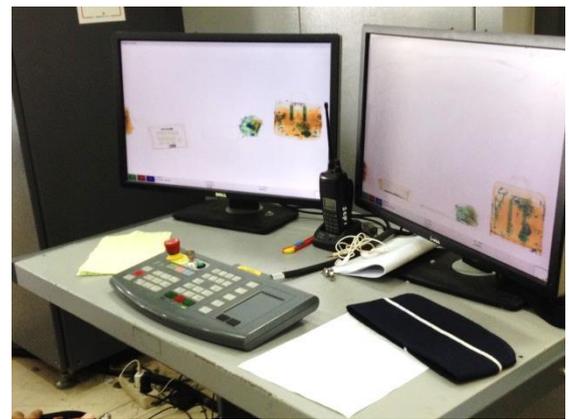
Gambar 1. Membungkus (*packing*) alat seperti kiriman TLD pada umumnya



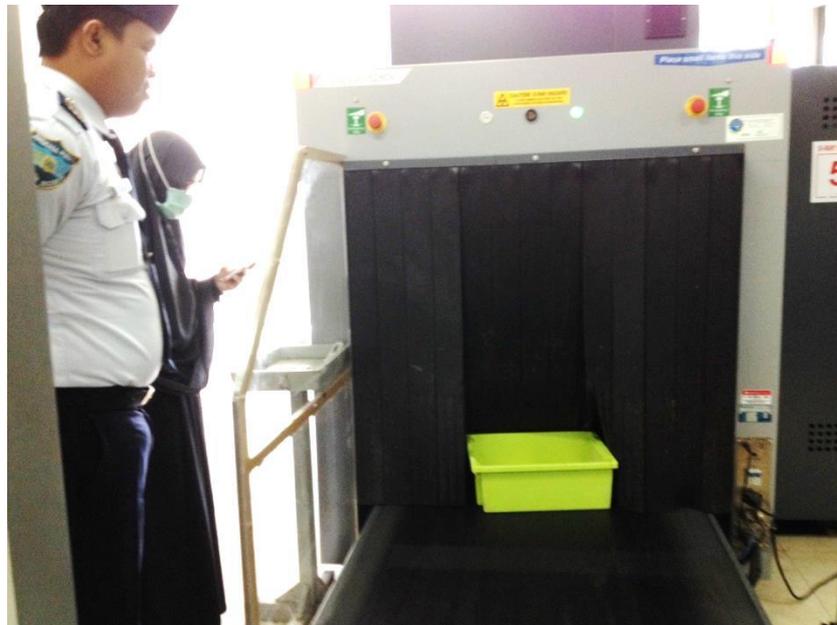
Gambar 2. Memasukkan alat ukur kedalam *fluoroscopi* bagasi



Gambar 3. Pengukuran lamanya waktu dosimeter saku melalui *tunnel*.



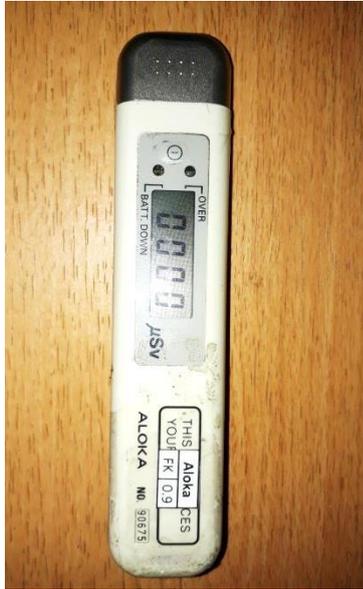
Gambar 4. Hasil citra alat saat disinari dengan sinar-X *fluoroscopy* bagasi



Gambar 5. Pengukuran suhu, tekanan, kelembaban dan dosis *background*

Lampiran 6

Dokumentasi Alat



Gambar 1. Dosimeter saku Kode B



Gambar 2. Thermoigrometer



Gambar 3. Fluoroscopy bagasi



Gambar 4. Dosimeter Saku Kode A



Gambar 5. Multimeter X-ray

Lampiran 3

Hasil pengukuran TLD *Control* BPFK Makassar di beberapa titik daerah
yang mewakili dosis radiasi daerah disekitarnya

No.	Tanggal	Dosimeter ID	Daerah	Dosis Radiasi (mSv)	
				Hp 10 (mSv)	Hp 0,07 (mSv)
1	10/24/2012	2000935	Kendari	0,1101	0,1234
2	10/24/2012	2000407	Manado	0,0801	0,0622
3	11/12/2012	2000935	Luwu Banggai	0,0925	0,1106
4	11/12/2012	2000674	Sorong	0,1241	0,1032

Lampiran 4

Hasil perhitungan standar deviasi pada nilai TLD *Control* di wilayah kerja
BPFK Makassar

No.	Kode Wilayah	Propinsi	Nilai TLD Control	\bar{x} (mSv)	Sd (mSv)	x^* (mSv)
			Hp 10 (mSv)			
1	40	Sulawesi Selatan	0,0448	0,0893	0,0339	0,0893±0,0339
2	41	Sulawesi Tenggara	0,1101			
3	42	Sulawesi Tengah	0,0925			
4	43	Sulawesi Utara	0,0801			
5	44	Gorontalo	0,147			
6	45	Papua	0,1241			
7	46	Maluku Utara	0,0801			
8	47	Maluku / Ambon	0,0801			
9	48	Sulawesi Barat	0,0448			

